

DE L'INSTITUT TECHNIQUE DU BATIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS

REVUE MENSUELLE

JANVIER 1958

Onzième année, N° 121

SOMMAIRE

	Pages
R. COMTET, L'outillage moderne est-il rentable dans les entreprises d'électricité?	1
Série : Équipement technique (59)	
G. VERDIER et G. CASSAN, Prévention technique et prévention médicale sur le chantier témoin de Ponturin	9
Série : Questions générales (35)	
La fissuration des conduits de fumée.	
J. TIREL, Contraintes thermiques dans les conduits de fumée	27
A. CLAUDON et J. TIREL, Observations expérimentales sur les fissures de conduits de fumée	40
Série : Équipement technique (60)	
P. DANTU, I. — Étude des contraintes dans les milieux hétérogènes. Application au béton.	55
II. — Utilisation des réseaux pour l'étude des déformations.	78
Série : Essais et mesures (40)	
Documentation technique réunie en octobre 1957.	99
Documentation technique (111)	

En supplément

NOTES D'INFORMATION

- NI 33 Treillis soudés.
NI 34 Revêtements extérieurs à briques sans joints.

**CENTRE D'ÉTUDES SUPÉRIEURES
ET DE DOCUMENTATION TECHNIQUE**

6, RUE PAUL-VALÉRY, PARIS (XVI^e)

**LABORATOIRES DU BATIMENT
ET DES TRAVAUX PUBLICS**

12, RUE BRANCION, PARIS (XV^e)

BUREAU SECURITAS

4, 6, RUE DU COLONEL DRIANT, PARIS (I^{er})

**CENTRE D'INFORMATION ET DE
DOCUMENTATION DU BATIMENT**

100, RUE DU CHERCHE-MIDI, PARIS (VI^e)

Édité par **La Documentation Technique du Bâtiment et des Travaux Publics**
(Société à responsabilité limitée au capital de 3 000 000 F)

C. C. P. PARIS 8524-12

6, rue Paul-Valéry, PARIS-XVI^e

Tél. : KLÉber 48-20

ANNONCES

NORMALISATION INTERNATIONALE LIANTS HYDRAULIQUES

Le Comité Technique ISO/TC 74 « Liants Hydrauliques » de l'Organisation Internationale de Normalisation ISO, dont le Comité-membre français est l'AFNOR, a tenu sa première réunion à Bruxelles du 30 septembre au 3 octobre 1957.

Les pays suivants s'étaient fait représenter : Allemagne, Belgique (chargée du Secrétariat), Danemark, France, Inde, Italie, Norvège, Pays-Bas, Pologne, Royaume-Uni, Suède, U. R. S. S.

A l'ordre du jour figuraient :

- 1^o Définition et classification des ciments;
- 2^o Méthode d'essais mécaniques des ciments.

En ce qui concerne le premier point, le comité s'est mis d'accord sur un certain nombre de définitions concernant les ciments Portland et les ciments à base de laitier de haut-fourneau. Les définitions concernant les ciments alumineux et pouzzolaniques feront l'objet de discussions ultérieures.

En ce qui concerne le second point, la réunion a admis le principe des essais mécaniques des ciments basés sur une méthode unique, actuellement étudié par les organisations internationales RILEM et CEMBUREAU. Des essais seront poursuivis sur l'application de cette méthode notamment dans les pays qui ne sont pas représentés au sein des organisations RILEM et CEMBUREAU.

Une visite des chantiers de l'Exposition Universelle de Bruxelles 1958 et du port d'Anvers a suivi la clôture de la réunion.

LE BANC D'ESSAIS DE CHARPENTES DU CENTRE TECHNIQUE DU BOIS

Le Laboratoire d'Essais du Centre Technique du Bois, qui effectuait déjà des essais de charpente en grandeur nature grâce à un montage provisoire, dispose depuis novembre 1957, d'un banc d'essai conçu par M. Quiquandon, Ingénieur des Eaux et Forêts au Service des Recherches et Essais, et exécuté par les Établissements Ducharme à Vitry (Seine).

La charpente à essayer est comprimée sur une base indéformable par un système de câbles renvoyés en mouflage sur des poulies, suivant le principe déjà employé par les laboratoires anglais (Princes Risborough et T. D. A.). Des dispositifs originaux, et notamment un double câblage commandé par deux treuils indépendants, permettent d'obtenir un effort important pour des câbles relativement fins (jusqu'à 4 t sur chacun des six appuis disponibles), de disposer simultanément des charges différentes, de mesurer directement l'effort exercé sur chaque appui et d'appliquer pendant une longue durée des charges statiques (étude du fluage).

Des charpentes allant jusqu'à 14 m de portée en appui direct sur la base indéformable et en charge répartie, ou de portée illimitée en appui sur le sol et en charge localisée dans la partie centrale, peuvent être essayées. Enfin, des charges réparties de 20 t (ou 10 t centrées) peuvent être atteintes pour les plus grandes portées.

Cet appareillage, qui comporte divers dispositifs réduisant au maximum le temps de montage préalable à l'essai proprement dit, donne la possibilité aux Laboratoires du Centre Technique du Bois d'essayer, dans les meilleures conditions, tous les types de charpente actuellement fabriqués. Son utilisation peut être étendue à l'étude de la résistance à la flexion de tout matériau ou montage de grandes dimensions (éléments de pont, poteaux de ligne, etc...).

ASSOCIATION FRANÇAISE DES ÉCLAIRAGISTES

Les prochaines Journées de l'Éclairage se dérouleront à Reims du 24 au 26 avril 1958 et seront consacrées aux thèmes suivants :

— Enseignement de l'Éclairage (organisation, programmes en France et à l'étranger);

— La colorimétrie (son état actuel sur le plan scientifique et la signalisation);

— L'éclairage public (codes de bonne pratique utilisés en France et dans divers pays étrangers);

En dehors des séances de travail, des manifestations extérieures sont également prévues (nouvelles installations d'éclairage public, illumination de monuments, éclairage de magasins, visites d'usines, etc...).

SYMPOSIUM SUR L'OBSERVATION DES OUVRAGES

Le compte rendu du Symposium de la Réunion Internationale des Laboratoires d'Essais et de Recherches sur les Matériaux et les Constructions (RILEM) sur l'observation des ouvrages, vient de paraître.

Le Symposium s'est tenu en octobre 1955, à Lisbonne au Laboratório Nacional de Engenharia Civil, qui l'a organisé avec l'appui de M. L'Hermite, Secrétaire Général de la RILEM. Le nombre de participants a été de 150 environ, et 54 communications ont été présentées. Une exposition d'appareillage pour l'auscultation des ouvrages a eu lieu lors du Symposium.

Le Symposium était placé sous la Présidence d'Honneur de M. le Prof. Ros, Membre Honoraire de la RILEM, et de M. le Prof. Rüsch, Président de la RILEM en 1955-1956. La direction des séances fut confiée à M. Rocha, Directeur par intérim du Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

Le compte rendu comprend deux volumes, soit 1.300 pages environ. Outre la table des matières, des index des auteurs et des ouvrages dont on fait mention dans le texte en facilitent la consultation.

VOLUME I

Après la Préface, on donne la liste des participants, ainsi qu'une notice sur l'Exposition d'appareillage et la liste des appareils présentés par quinze exposants de six pays.

Ensuite, les allocutions inaugurales de MM. les Prof. Ros et Rüsch sont transcrites.

Le Rapport général (versions en français et en anglais), par MM. Rocha, Ferry Borges et Laginha Serafim, rassemble et systématise les buts et les perspectives de l'observation des ouvrages, et fait l'analyse des méthodes et appareils employés, avec des références aux travaux présentés.

Les discussions pendant les séances ont été subordonnées aux thèmes suivants :

- 1^o Description et caractéristiques des appareils et des méthodes de mesures;
- 2^o Évaluation des propriétés des matériaux;
- 3^o Programmes, descriptions et interprétation des résultats d'observations d'ouvrages.

On présente les textes des 136 interventions de 39 participants.

VOLUME II

Des sujets compris dans les thèmes indiqués ci-dessus font l'objet des 54 communications présentées. On y décrit des nouveaux appareils et méthodes d'observation, ainsi que le perfectionnement d'autres. Des importants ouvrages bâtis dans les différents pays, dans la dernière décennie, sont étudiés au point de vue de leur comportement, et pendant la construction et pendant leur vie postérieure.

Toutes ces questions sont traitées par des spécialistes appartenant aux principaux organismes d'auscultation et de réalisation des ouvrages.

Prix par exemplaire (2 volumes) : 300 escudos (10 1/2 dollars).

Les personnes désirant recevoir des comptes rendus sont priées d'en faire la demande au :

Laboratório Nacional de Engenharia Civil,
Av. do Brasil, Lisboa, Portugal.

BATIR

REVUE TECHNIQUE DE LA FÉDÉRATION NATIONALE DU BATIMENT ET DES ACTIVITÉS ANNEXES
PUBLIÉE AVEC LE CONCOURS DE L'INSTITUT TECHNIQUE ET DES LABORATOIRES DU BATIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS

— Le prix de la construction aux U.S.A.

GROS ŒUVRE

— Le plus simple des coffrages.

PEINTURE ET DÉCORATION

— Questions variées.

— La superposition d'immeubles.

RÉALISATION ÉTRANGÈRE

— École aimable à Lausanne.

— Quoi de neuf ?

MÉTAL

— Réalisation et expérience : un immeuble « tout acier » est construit à Paris.

PATHOLOGIE DE LA CONSTRUCTION

— Explication botanique d'un accident de bétonnage...

— La préfabrication lourde en U.R.S.S. : un immeuble expérimental à Lénigrad.

— Échos et informations.

— Fiches bibliographiques.

N° 71

NOVEMBRE

1957

1127N

Série : ÉQUIPEMENT TECHNIQUE (59)

CENTRE D'ÉTUDES SUPÉRIEURES

SÉANCE DU 7 MAI 1957

SOUS LA PRÉSIDENCE DE **M. LAPEYRE**,
Ingénieur en Chef au Ministère de l'Industrie
et du Commerce

L'OUTILLAGE MODERNE EST-IL RENTABLE DANS LES ENTREPRISES D'ÉLECTRICITÉ ?

par **M. R. COMTET**,
Président de la Fédération Nationale
de l'Équipement Électrique

RÉSUMÉ

Le conférencier signale d'abord les éléments de la productivité américaine en matière d'installations électriques : planning, standardisation du matériel, main d'œuvre proportionnée aux opérations, paiements rapides, crédit facile, réduction des stocks, outillage.

Il examine ensuite les résultats d'une enquête faite parmi les 16 000 installateurs électriciens de France et qui a porté sur les points suivants :

- a) Emploi du pistolet à cartouches
- b) Tranchées dans les murs
- c) Marteaux de types divers
- d) Préparations et pose des conducteurs
- e) Travail du tube acier
- f) Travail en hauteur
- g) Travaux courants

SUMMARY

The speaker first gives indications on the elements of American productivity in electric installations : planning, standardization of equipments, proportionned labour force, rapid payments, easy credit, reduction of stocks, machinery.

He then gives the results of an enquiry made amongst 16 000 fitter electricians in France, which covered the following items :

- a) Use of the cartridge gun.
- b) Channel-cutting in walls.
- c) Hammers of various types.
- d) Preparation and fixing of conductors.
- e) Working of steel tube.
- f) Work at high levels.
- g) General normal work.

AVANT-PROPOS DU PRÉSIDENT

Lorsque M. Comtet m'a fait l'honneur de me demander de présider cette réunion, je l'ai fait avec d'autant plus de plaisir qu'il y a longtemps que je l'apprécie et que je sais que c'est une des personnalités les plus qualifiées pour le sujet qu'il va vous exposer.

Je pense qu'il est inutile de vous le présenter longuement. Vous savez que M. Comtet est Président de la Fédération Nationale de l'Équipement Électrique. A ce titre il a à s'occuper de sociétés d'importance très diverse, depuis l'artisanat jusqu'à la grande société qui occupe plusieurs centaines d'ouvriers. Il a donc, par conséquent, une gamme très étendue de problèmes et il voit ce qui peut s'adapter le mieux à toutes les sociétés, quelle que soit leur importance.

Je rappellerai également que M. Comtet a participé à de nombreuses missions de productivité à l'étranger, notamment aux États-Unis, en Angleterre et dans les pays nordiques; qu'il a pu, par conséquent, voir et apprécier ce qui s'y fait et je crois qu'il peut donc vous faire un exposé qui vous permettra de voir quelles sont les transformations, à l'échelle française, qui sont possibles dans votre domaine.

EXPOSÉ DE M. COMTET

Je tiens tout d'abord à remercier l'*Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics* qui, chaque année, me procure l'occasion de m'adresser à des professionnels, mes confrères pour la plupart, et à certaines personnalités dont l'aide nous est fort utile.

Parmi ces dernières, je remercie tout particulièrement M. LAPEYRE, Ingénieur en Chef au Ministère de l'Industrie et du Commerce, Directeur du Service électrique à la Direction des Industries Mécaniques et Électriques, qui a bien voulu accepter de présider la présente réunion.

M. LAPEYRE, qui vient de nous parler des missions que nous avons organisées à l'étranger, nous a toujours apporté un appui total dans l'organisation de ces missions. Il nous a encouragé aussi à fonder l'*Association Internationale des Installateurs Électriciens* dont je voudrais dire deux mots avant d'aborder le sujet de l'entretien d'aujourd'hui.

Cette Association Internationale avait été considérée par quelques pays adhérents comme une sorte de Club permettant à chacun des délégués des différentes nations de se retrouver périodiquement en un point de l'univers.

Cette opinion était fausse.

En effet, chaque année, au cours des réunions de cette Association, des questions d'ordre économique, technique et social sont discutées et les représentants des différents pays participent à cette discussion avec beaucoup de foi et les rapports présentés sont fort intéressants. Ils nous permettent souvent d'ailleurs de ne pas renouveler des expériences déjà faites dans d'autres pays et l'ensemble des études et discussions fournit aux membres de l'Association des documents importants et utiles. On peut dire qu'après quatre ans d'existence, tous ceux qui participent à la vie de l'Association Internationale se réjouissent vivement de son action.

Enfin M. LAPEYRE nous a aidé dans l'organisation de QUALIFÉLEC, organisme de qualification et de classification, grâce auquel nous sommes maintenant assurés de mettre un peu d'ordre dans notre profession, d'améliorer considérablement la qualité des installations et ceci dans l'intérêt tant des professionnels sérieux que des usagers.

* * *

Notre propos aujourd'hui est le suivant :

L'outillage moderne est-il rentable dans les entreprises d'équipement électrique ?

On pourrait penser que le fait même de poser cette question entraîne une réponse affirmative. Il apparaît toutefois, à l'étude, que cela n'est pas aussi simple qu'on le croit.

Pour tenter de répondre objectivement à la question posée, nous possédons deux sources d'information : d'une part, les renseignements recueillis au cours de missions à l'étranger, d'autre part les résultats d'une enquête effectuée parmi les syndicats de notre profession et à laquelle nombreux sont les techniciens qui ont répondu.

Une de nos missions s'est prolongée deux mois aux États-Unis et, avec nos collègues, nous y avons visité de nombreux chantiers d'installation électrique. Nous avons tous été surpris par les méthodes employées et les résultats obtenus. Une question revenait fréquemment sur nos lèvres « Comment peut-on parvenir à semblable productivité ? »

Parmi les éléments de productivité que nous avons pu déterminer aux États-Unis, on peut citer d'abord l'organisation du travail : une étude technique correcte et détaillée est toujours effectuée. Mais ensuite elle est rigoureusement respectée jusqu'à l'aboutissement des travaux : rien n'y est changé, pas même le déplacement de 5 cm d'une prise de courant.

Deuxièmement, les planning sont respectés dans le temps, sans exception : pour un entrepreneur ce serait, quelle qu'en soit la cause, une forme de suicide que de ne pas exécuter dans les normes de temps prévues un travail préparé minutieusement.

Le matériel est standardisé : on dit souvent que cela est facile dans un tel pays où les répétitions sont fréquentes. Même si cela est vrai, il n'empêche qu'en France on ne tient pas assez souvent compte justement des répétitions possibles.

Quant à la main-d'œuvre, elle est rigoureusement proportionnée à l'opération. Le planning indique à l'entrepreneur les dates de début et de fin de chantier, les abaques précisent le nombre d'ouvriers nécessaire. La main-d'œuvre est ainsi utilisée au mieux ; c'est le plein emploi dans le temps.

Enfin, les règlements sont rapides. Une facture envoyée avant la fin du mois est payée le 10 du mois suivant. Le crédit est facile et à bon marché. Les stocks sont réduits : l'ensemble du matériel est généralement transporté de chez le grossiste directement au chantier, au moment de l'ouverture de celui-ci.

A ces éléments qui permettent d'obtenir une productivité surprenante, s'en ajoute un dernier : l'outillage.

Au cours de notre voyage, nous avons été à chaque visite impressionnés par le nombre et la variété des outils figurant sur tous les chantiers où nous étions conduits. Nous en sommes arrivés à vouloir, par surprise, pénétrer sur un chantier non prévu dans le circuit de nos visites, afin de constater si, vraiment, dans tous les États-Unis, l'outillage était aussi étonnant. Notre tentative fut couronnée de succès, et notre opinion confirmée : les installateurs américains possèdent tout ce qui existe et qui est mis à leur disposition, ils ont cru en l'outillage qui leur est proposé et ils l'ont acheté.

Je citerai, à titre d'exemple, ce que j'ai vu rassemblé sur un chantier d'installation électrique : cinq machines à fileter les tubes, quatre scies à ruban pour la coupe des métaux, trois perceuses, deux machines à cintrer hydrauliques à moteur, deux soudeuses électriques, un assortiment de cintruses à main et d'outils et trois longs établis d'assemblage.

Dans une revue technique destinée aux professionnels, et diffusée par un organisme syndical, j'ai d'ailleurs pu relever les phrases suivantes :

Le changement progressif de l'industrie de la construction électrique (et là entendez bien installation) vers la mécanisation diminue la lacune entre la fourniture d'une main-d'œuvre spécialisée très statique et le volume du travail de construction enregistré.

« Statique » est ici employé au sens « stable ». Le nombre d'ouvriers ne croît guère dans notre profession aux États-Unis, par suite de la politique de malthusianisme pratiquée par les unions ouvrières. A New York, par exemple, pour effectuer son apprentissage dans une école de formation professionnelle, un jeune homme doit, ou avoir des titres ou être d'une famille où l'on est déjà électricien. Les nouveaux venus sont acceptés très difficilement.

Cette révision de la puissance de l'outillage de l'entrepreneur et des pratiques d'installation est offerte comme type à ceux qui regardent le problème du contrôle des heures de main-d'œuvre par rapport aux frais croissants et à une concurrence plus intense. Visitez un projet de construction électrique, grand ou petit, et étudiez les opérations de chantier de l'entrepreneur par les hauts surveillants électriciens, de l'ingénieur de chantier au contremaître, surveillez les monteurs au travail et notez leur attitude physique à la fin de la journée, notez les listes d'outils et les méthodes d'installation en usage ; puis rappelez-vous les travaux semblables installés dans la décade passée et faites une comparaison mentale. Vous noterez que des pas énormes ont été faits dans la technologie de la construction électrique.

Pendant les années de guerre et d'après guerre, les systèmes électriques sont devenus plus complexes et plus importants. Cette tendance se développe car l'énergie devient plus importante pour la production industrielle, les entreprises commerciales et même pour le mode normal de vie de notre peuple. Aujourd'hui, beaucoup plus que par le passé, l'entrepreneur électricien a plus à faire et moins de temps pour le faire.

En regard de cela, l'alimentation en main-d'œuvre très qualifiée reste très statique, avec seulement une légère augmentation du nombre. À la vérité, les apprentis sont entraînés, mais un travail de quatre ans et le temps des études séparent le débutant de la position classe A, leur influence sur le marché de travail est la même qu'autrefois.

En dépit de cet handicap apparent en puissance humaine, les systèmes électriques sont installés plus rapidement, plus aisément, avec plus de qualité dans le travail et moins d'efforts physiques pour l'ouvrier. La plupart de ces progrès sont dus à une combinaison de facteurs.

Les entrepreneurs électriciens mécanisent et organisent leurs opérations de chantiers au plus haut degré. La production des fabricants d'équipement électrique reflète une considération saine de l'installation et des facilités d'entretien. Les fabricants d'outils deviennent plus conscients de leurs problèmes et des besoins, des façons de tubes d'appareillage et produisent toute une gamme d'outils puissants et d'accessoires qui trouvent des applications exactes sur les chantiers. Le but commun est une plus grande productivité par heure d'ouvrier et d'employé et une augmentation de la fourniture effective de la main-d'œuvre.

On peut donc voir que les Américains sont satisfaits de ce qu'ils ont réalisé dans le domaine du rendement, et cela grâce à des méthodes améliorées et à un outillage de plus en plus perfectionné.

Examinons maintenant les résultats de l'enquête que nous avons lancée, relative à l'outillage. Je précise que cette enquête a été sérieuse suivant les genres d'outillage : je ferai donc état des réponses en fonction de l'ordre du questionnaire.

Le pistolet à scellement.

Outil n° 1, le pistolet à scellement. A son sujet on nous a répondu « Aujourd'hui, tous mes ouvriers en ont un dans leur sac » et : « les ouvriers adoptent facilement tous les outillages modernes, sauf un seul instrument : le pistolet à scellement ». La marge d'appréciation est grande, vous le constatez.

Pourquoi, à côté de l'affection, cette haine d'un tel outil ? En premier lieu, certains entrepreneurs pensent que l'économie de temps, considérable avec cet instrument est largement compensée par l'achat de l'outil, puis par celui des pointes, des rondelles, des vis, des cartouches.

Ensuite, cet instrument ne donne pas d'excellents résultats partout. Impossibilité absolue de s'en servir dans la brique creuse ; de même impossibilité de l'utiliser dans le béton banché, actuellement largement employé, en raison des éclats de gravillon.

Personnellement, je conserve comme une pièce de musée un mur de façade criblé d'éclats. On peut l'appeler « champ de tir », mais on n'y trouvera pas une pointe : aucun pistolet, d'aucune marque, n'a pu parvenir à en enfoncer une. La pierre de ce mur est dure et recouverte d'un crépît qui, s'il n'empêche pas l'adhésion parfaite de l'instrument, fait que la pointe, même lancée avec une charge très forte, vient s'écraser sans entrer, sur le mur.

Évidemment, avec le fer, tel que les représentants le sortent de leur mallette de démonstration, ce pistolet marche à merveille ; c'est même spectaculaire, mais trop souvent loin des exigences qui nous sont présentées, sous forme de matériaux très durs et très différents du fer.

Un autre inconvénient est dû à la nécessité de nettoyer fréquemment cet instrument, ce nettoyage étant d'ailleurs difficile à obtenir du personnel. Et l'encrassement conduit, en quelques heures, à un mauvais rendement : percussions ratées, pointes à demi enfoncées, grippage du canon, etc...

Enfin, les accidents sont nombreux, et c'est là le plus grave. Les fabricants, devant les cas fréquents d'accidents du travail survenus à la suite de l'utilisation de cet instrument, déclarent unanimement « C'est la faute de l'ouvrier ». Souvent, il est vrai, ces accidents sont dus à l'inexpérience ou à la négligence. Mais, enfin, ces outils devraient être dotés d'un certain nombre de protections. Car, s'il y a eu négligence, ces négligences sont souvent prévisibles : et on a cité un ou deux accidents mortels, sans parler d'œil crevé, etc...

Un ouvrier fixe une bande métallique sur une cornière de fer, la bande métallique n'est pas très ajustée, l'outil dévie, la pointe va le long de l'aile du fer et revient blesser l'ouvrier au ventre.

Un outil était chargé, la percussion n'a pas fonctionné, l'ouvrier démonte la partie de l'outil en dérangement puis fait un essai en oubliant la cartouche, qui transperce une main. Des cas semblables sont fréquents : on en connaît quinze ou vingt. Dans l'un d'eux, l'ouvrier a reçu la pointe dans l'œil.

Le fait de citer ces accidents ne vaut pas condamnation de l'instrument. Mais il faut que les patrons éduquent leurs ouvriers, leur fassent connaître les dangers, les préviennent des risques. Il faut aussi et surtout, que les fabricants alertés par ces cas qui devraient être exceptionnels, s'intéressent à la question du risque et adoptent des dispositifs de sécurité indispensables. Car, l'enquête nous l'a prouvé, ce sont les entreprises où sont arrivés des accidents qui nous ont déclaré : « Chez moi, personne ne veut de cet outil ».

À ce propos, je voudrais signaler en passant un fait amusant. Certaines grandes administrations se refusent à

payer les façons faites au pistolet à scellement aux mêmes conditions que celles faites au tamponnoir et à la cheville, de ce fait, il est évident que l'entrepreneur n'a guère d'intérêt à utiliser le pistolet à scellement.

Les accidents dus à cet outil ont conduit à utiliser le pistolet à frappe directe. L'effort de l'ouvrier est plus important et le rendement n'est plus aussi brillant qu'avec le pistolet à scellement. Pour que le pistolet à frappe directe fonctionne bien, il faut employer une masse d'un poids déterminé et bien équilibrée : or, cette masse est lourde à transporter.

Si l'ouvrier met facilement l'outil dans son sac, il répugne à y joindre une masse qu'il n'aime pas avoir à porter.

La fraise à exécuter les tranchées dans les murs.

Dans notre questionnaire, nous abordions ensuite la question des tranchées dans les murs pour les encastresments.

60 % des réponses m'ont beaucoup surpris. Elles disent : « Pour faire les tranchées, j'emploie un burin et un marteau, je ne connais pas d'autre solution ». Cela est curieux car il existe des appareils pour cette opération, mais si 60 % de nos correspondants les ignorent c'est que la propagande a été mal faite ou qu'est apparue une contre-propagande.

Aux États-Unis, nous avons vu très peu de machines à faire des saignées car on ne s'amuse pas dans ce pays à détruire les murs et les cloisons, on utilise de tous autres procédés pour passer les canalisations. Par contre, ce genre d'instrument existe au Danemark et surtout en Allemagne.

En Allemagne, la machine à rainurer les murs est d'un usage très répandu surtout dans le domaine de la petite habitation ; il s'agit soit de scie circulaire, soit de fraise.

La scie circulaire est quelquefois double de manière à découper en une seule fois la rainure. L'ouvrier n'a plus qu'à faire tomber la partie médiane par quelques coups de burin. L'opération est rapide et propre, la largeur de la tranchée est toujours la même.

Avec les fraises, on rabote la largeur voulue et on peut régler la profondeur. Toutefois, il faut signaler que cela fait beaucoup de poussière. Les machines coûtent cher et ne fonctionnent certainement pas dans des matériaux durs. Les machines allemandes, très perfectionnées valaient, à notre dernier voyage, aux environs de 200 000 F. Les scies peuvent abattre 200 m de tranchée dans un matériau mi-dur et 600 m dans un matériau tendre. Après quoi il faut changer l'outil ou le réaffûter.

Toujours dans le domaine des outils à percement, les marteaux à rotation sont considérés comme n'ayant guère d'intérêt pour la plupart de nos correspondants et les marteaux à rotation électrique trop fragiles. A mon avis, certains fabricants français ont admis des moteurs électriques un peu trop faibles. Plutôt que de rechercher le plus bas prix on aurait mieux fait de construire des machines avec un moteur suffisamment résistant. On éviterait la fatigue de l'outil, l'échauffement du moteur et la détérioration du matériel.

Le marteau électrique.

L'utilisation du marteau électrique est intéressante dit-on, à condition d'être accompagnée de l'affûtage rationnel des burins. On obtient alors une grosse économie de temps avec la possibilité de travailler commodément,

surtout en plafond et en angle et on obtient des trous strictement limités, comme diamètre, aux besoins. On n'a plus de ces trous énormes faits au burin ou au tamponnoir avec lesquels on enlève la moitié de la cloison.

Un de nos adhérents nous a cité un accident qui lui est arrivé : il possédait un instrument à faire des trous dans le béton. La mèche coûtait 15 000 F, cette machine a été mise hors service après quelques minutes d'usage. Le monteur avait fait tourner sa chignole à 1 500 tours alors qu'il aurait fallu qu'elle ne tourne qu'à 600 tours maximum. Des outils d'un tel prix ont-ils leur place sur un chantier ?

Il faut signaler que dans certains pays, et particulièrement en Allemagne, on fabrique des fraises pour découper l'emplacement des boîtes encastrées d'interrupteurs. C'est là une idée intéressante qui touche la normalisation du matériel. Ces fraises sont rondes et ont la dimension exacte du matériel normalisé encastré. L'ouvrier tient sa chignole à environ 1,20 m du sol, il pousse dans la cloison et la fraise découpe rapidement le trou rond absolument parfait dans lequel il suffit d'introduire l'interrupteur avec la prise de courant et de le fixer avec des agrafes Esta.

Le maniement des conducteurs.

Notre enquête portait ensuite sur la présentation et la pose des conducteurs, le déroulage, le dénudage et l'éti-rage des fils et des câbles. Dans ce domaine, on peut se demander pourquoi les câbliers n'ont pas encore résolu certains problèmes. Je ne parle pas des câbles armés qui sont livrés sur de gros tourets, mais des fils et câbles d'installation. Ceux-ci sont livrés en bobines de 100 m, les spires jointives ont été réunies par un petit cordonnet, en trois ou quatre endroits, ensuite on a passé du papier kraft ou bouillonné, en spirale, autour de la couronne. Celle-ci arrive ainsi en bon état chez l'utilisateur qui, avec des ciseaux, coupe les papiers, fait sauter les liens réunissant les spires et la couronne va à terre. Elle est alors en contact avec le sol souillé de plâtre, de ciment et parfois même de liquides corrosifs.

Il me semble qu'on pourrait trouver une solution plus pratique. Aux États-Unis, par exemple, les bobines sont placées sur des déroule-câble isolés du sol. Des dérouleuses de câble sont fixées sur cet espèce de portique et portent des compteurs tellement précis qu'ils servent à la facturation.

Je signale en passant qu'un outil spécial est utilisé aux États-Unis pour enfiler les fils et les câbles dans les tubes. Il s'agit souvent d'une machine à air comprimé remplaçant l'ancienne aiguille de tirage. On envoie une aiguille avec un bouchon de taille déterminée, on obtient ainsi à la fois le passage très rapide de l'aiguille et le nettoyage du tube.

Le travail du tube en acier.

Nous parlerons maintenant du travail du tube acier. Aux États-Unis, sur chaque chantier, on trouve un matériel complet pour ce genre d'opération. La scie à métaux est remplacée par des scies à ruban. Les filières sont automatiques de même que les fraises. La façon dont les Américains travaillent le tube leur permet de gagner beaucoup de temps. A ce sujet, je dois rappeler la qualité toute particulière du tube aux États-Unis. Il a, en effet, un recuit particulier qui le rend plus malléable, sans nuire pour autant à sa résistance mécanique et les machines ont beaucoup moins de mal à effectuer leur travail. J'ai déjà cité l'outil très employé qu'est le sabot de pied. Cet instrument très simple permet de couder le tube à très grande vitesse.

Au sujet des tubes, nous nous sommes demandés si le travail de filetage ne pourrait pas être, dans certains cas, remplacé par quelque chose d'autre. Il y a, bien entendu, les raccords spéciaux à serrage conique mais je voudrais vous parler d'un procédé utilisé au Danemark. Dans ce pays le filetage du tube n'existe plus. On utilise des accessoires à enfilage, à rodage parfait. Il s'agit de manchons plus longs que ceux que nous connaissons, dans le procédé du tube à joint rapproché. Du fait du rodage parfait, on peut se demander si la méthode employée au Danemark n'est pas, au point de vue qualité d'exécution, comparable à celle du tube acier fini.

Le travail de la moulure et du type « tôle plombée ».

Notre enquête portait ensuite sur la moulure en bois et du tube « tôle plombée ». Personne ne connaît rien des outils particuliers pour la mise en place de la moulure ou du tube tôle. Il semble qu'on verra toujours les ouvriers électriciens portant des boîtes d'onglets et une scie, posant le genou à terre pour rafraîchir leur moulure, montant à leur échelle, prenant les dimensions, redescendant, sciant, remontant et clouant.

Quand on se préoccupe tant soit peu de productivité, ce procédé a quelque chose de pénible et évidemment d'archaïque.

Pour le tube plombé, on utilise encore de bonnes vieilles pinces, mais en ce domaine, d'après ce que j'ai entendu dire, le tube tôle plombée est de moins en moins utilisé.

Les échafaudages mobiles.

Nous avons ensuite étudié le travail en hauteur.

Il est évident que là encore, si l'on veut économiser les gestes, il y a beaucoup à faire. Dans une journée de 8 h de travail, il est absolument impossible de chiffrer le nombre d'heures de travail productif réellement effectué. Le fait de monter à l'échelle et de descendre perpétuellement fait perdre beaucoup de temps et il n'est malheureusement pas question de condamner l'échelle dont on aura toujours besoin. Cependant, on peut la remplacer dans de nombreux cas par un échafaudage prévu pour les usages que nous avons à lui demander. Il faut d'abord qu'il soit solide, car, non assuré de ses pas, un ouvrier reperdrait par manque de sécurité le temps gagné par l'échafaudage. Il faut que cet échafaudage soit léger pour être déplacé facilement et il ne doit comporter aucune pièce mécanique nécessitant des interventions de boulons et de clef anglaise; il faut qu'il soit très mobile avec une partie inférieure en forme de pont de manière à pouvoir glisser sur des sols même embarrassés.

Si on sait l'employer, c'est un outil d'un rendement exceptionnel. Je dis bien « si on sait l'employer », car il ne faut pas que ce soit le même ouvrier qui fasse toutes les opérations, sans ça on retrouvera l'échelle avec ses montées et ses descentes. Aux États-Unis, par exemple, les ouvriers spécialisés sont en haut de l'échafaudage et sont servis par des manœuvres situés au plan inférieur. En plus, les escabeaux roulants doivent avoir des roues pivotantes pouvant être bloquées et il doit y avoir des possibilités de réglage en hauteur pour que la plate-forme soit toujours horizontale, même si les planchers sont dénivelés. Le prix de cet outillage est abordable : un petit escabeau coûte 20 000 F et un escabeau de 6 m de hauteur n'atteint pas 100 000 F. Il en existe qui ont même 10, 12, 14 m de hauteur.

Les « caisses » d'outil.

Parlant des travaux courants, nous avons lancé l'idée des boîtes agencées. De nombreuses réponses nous ont indiqué qu'il existait des « boîtes toute prêtes » dans beaucoup d'entreprises. Un de nos correspondants a même précisé : « Je possède une boîte « lignes réparations », une boîte « lignes complètes », une boîte « chantier et tubes acier jusqu'à 21 », une boîte « chantier tous tubes », une boîte « cabine haute tension » et une boîte « branchement basse tension ».

Cela présente de multiples avantages. L'ouvrier part avec tout son matériel nécessaire et à son retour le magasinier vérifie, remplace, répare, complète. La boîte est prête pour un nouveau départ. Sur le chantier il n'y a pas de perte possible, toutes les choses sont à leur place, et notre correspondant ajoutait : « je possède un fourgon dans lequel je mets ces boîtes, j'y ajoute un établi portatif et j'ai ainsi un véritable petit atelier ». Il semble donc que l'idée des boîtes spécialisées soit à retenir.

Les tabliers pour outillage.

Nous parlerons ensuite du tablier de monteur. Aux États-Unis tous les monteurs possèdent un tablier dans lequel on peut mettre tous les outils courants. On a fabriqué en France un tablier dit « tablier breveté ». Il présente une particularité : lorsque l'ouvrier se penche, tous les outils tombent. Or, à mon avis, un tablier breveté doit pouvoir recevoir des outils déterminés, mais aussi les conserver quelle que soit la position de l'ouvrier; il doit même éviter des accidents en prévoyant la position dans laquelle les outils doivent être mis afin d'éviter qu'un outil contondant, par exemple, ne blesse un ouvrier en cas de chute.

Pourquoi le tablier n'est-il pas utilisé en France? Beaucoup de nos correspondants disent : « il est inesthétique » et : « les ouvriers préfèrent mettre les outils dans les poches de leurs bleus plutôt que d'avoir un tablier semblable sur le ventre ». C'est bien dommage, mais c'est hélas vrai. Je puis citer un exemple personnel : j'avais offert à chacun de mes ouvriers un beau tablier avec un jeu complet d'outils. Je supposais que cela était très pratique. Mais je dois constater que les tabliers sont tous dans l'armoire de l'atelier et que personne n'en a jamais porté.

Les désirs des professionnels.

Nous avons ensuite demandé quels étaient les outils spéciaux que souhaiteraient posséder les installateurs.

Un de mes correspondants a répondu : « j'aimerais posséder un petit groupe compresseur commandant un petit marteau à piquer, ainsi que divers outils pour percements et saignées, ce groupe pouvant être commandé indistinctement par moteur électrique ou moteur à essence. »

D'autres me demandent un outil à dénuder les câbles P. F. G. des appareils à faire les saignées dans la brique, ce qui prouve que l'existence de la scie dont j'ai parlé est ignorée de beaucoup. On a demandé une tronçonneuse électrique simple pour barres de cuivre; un pistolet à cartouche nécessitant moins d'entretien et offrant plus de sécurité que les matériels actuels; un marchepied léger, peu encombrant, stable, robuste avec rampe de sécurité et peu coûteux.

Je voudrais, au sujet de l'outillage, dire qu'il est absolument nécessaire que nous collaborions avec les constructeurs, que ce soit les constructeurs d'outillage ou les constructeurs de matériel. Il existe des matériels relati-

vement bon marché qui, cependant, deviennent coûteux sur un chantier parce que, alors que nous avons à le mettre en œuvre, nous perdons souvent un temps précieux si ce matériel est mal conditionné; nous préférierions souvent payer ce matériel un peu plus cher si nous avions en contre-partie des facilités de pose plus grandes.

Tout à l'heure nous avons parlé des possibilités de concentrer les opérations. Aux États-Unis c'est une chose qui est largement appliquée. Sur un chantier, il existe des postes centraux qui font en quelque sorte une petite préfabrication d'éléments à grande répétition. Un de mes correspondants m'a dit, au contraire, qu'il était pour la décentralisation des opérations. Il est habitué à travailler dans les H. L. M. et il a trouvé plus d'avantage à mettre un outillage de chantier à chacun des étages, car les allées et venues nécessitées par la concentration sont plus coûteuses que la décentralisation.

La réaction des ouvriers.

J'en viens maintenant à la réaction des ouvriers en ce qui concerne les outils. Aux États-Unis, on est à peu près certain de voir, sous forme d'augmentation des salaires, l'avantage créé par l'utilisation des nouveaux outils facilitant le travail. Nous n'en sommes pas encore là. Chez nous, l'avantage de l'ouvrier est la diminution de la peine qu'il prend avec un outillage perfectionné.

Un correspondant m'a écrit en plus : « les ouvriers sont très longs à s'adapter à un nouvel outillage, mais une fois qu'ils y sont accoutumés, ils ne veulent plus s'en passer ». A ce propos, je puis signaler qu'un outil, autrefois beaucoup utilisé, est aujourd'hui complètement négligé : c'est le vilebrequin. Il existe dans les listes d'outillage, je crois même qu'il fait partie de la liste-type établie dans les conventions collectives, mais il n'empêche que les ouvriers ayant eu la possibilité d'utiliser de nombreuses machines à percer, le vilebrequin n'est même plus utilisé, lorsque pour un très petit travail une machine à percer fait ce que je pourrais appeler du « rendement à rebours ».

Les réactions des ouvriers sont très diverses et très variables. Il faut d'abord les consulter pour leur deman-

der leur avis lorsqu'on désire acquérir un nouvel outillage, mais ensuite il faut contrôler si l'outil rend bien. C'est une question de persuasion de la part du chef monteur.

Quelles sont les dépenses et les investissements admissibles dans une entreprise pour l'outillage? Les chiffres sont excessivement variables mais la moyenne s'établit à environ 0,50 % du chiffre d'affaires. C'est peu. En calculant qu'une entreprise qui fait 30 millions d'affaires a besoin de douze à quinze ouvriers, 0,50 % de son chiffre d'affaires représente 150 000 F d'outillage, soit 10 000 F par ouvrier et par an. Les ouvriers qui touchent un salaire approximatif de 500 000 F par an reçoivent une prime d'outillage de 2 ou 3 %. J'entends bien que cette prime, versée en complément du salaire, n'est généralement pas utilisée pour l'entretien ou l'amélioration de l'outillage, mais si les ouvriers utilisaient cette somme à cette fin, cela représenterait 10 à 15 000 F par an et par ouvrier. Par conséquent, la part patronale qui ne serait fixée qu'à 10 000 F me paraît bien faible et même très insuffisante.

On nous dit : « Si je ne dépense pas davantage pour l'outillage, c'est que je ne peux pas ». Notre propos n'est pas de parler des conditions économiques des entreprises et il est bien évident que la grosse majorité de nos confrères, mis devant le problème de l'acquisition d'un outillage nouveau et même de l'entretien de l'ancien matériel doivent se dire fréquemment : « je ne peux pas ». Et pourtant, à Brooklyn, les monteurs avaient un outillage monstre. Pourquoi? Parce que aux États-Unis on fait crédit sur de très longues échéances et à bas prix. Dans ce pays, les banques envoient une situation de votre compte à chaque opération, et à chaque envoi, ces banques joignent un imprimé précisant que des milliers de dollars sont à la disposition des industriels, ils peuvent en profiter, le crédit est largement ouvert. Malheureusement les banques françaises, surtout depuis les nouvelles instructions gouvernementales, n'en sont pas encore à nous proposer de telles facilités.

Je rappelle toutefois que nos organisations syndicales ont mis sur pied un organisme de crédit qui, justement, sert pour l'équipement.

CONCLUSION

L'outillage est-il rentable? Pour certains outils, indiscutablement : oui. A mon avis, le pistolet à charge et l'escabeau roulant sont de ceux là. Pour les autres, c'est moins évident. Cela dépend du travail que l'on fait. Pour ceux qui ont beaucoup de tranchées à faire l'on peut pour 135 000 F obtenir le matériel que j'ai vu en Allemagne. Pour le travail que je lui ai vu faire cela paraît être une opération intéressante.

Quelle est la proportion d'économie qu'on peut attendre de l'outillage moderne?

Les réponses sont très variables, certaines invraisemblables. Un de mes correspondants n'a-t-il pas cité un chiffre de 80 %. Aux États-Unis, la réponse est très nette : l'outillage nouveau aurait dû donner 40 % d'économie, mais il n'en a donné que 20 % parce que l'ouvrier souvent, résiste à l'outil. Il y a là un facteur psychologique bien

évident. L'ouvrier effectue son travail en fonction du calibre représentant ce qu'il lui est possible d'effectuer dans une journée. Le jour où on lui donne des outils nouveaux qui permettent de faire davantage, il en fait davantage, mais il a aussi une sorte de ralentissement qui fait que les possibilités de l'outil ne sont pas rigoureusement respectées.

Toutefois, si par le seul fait d'acquérir des outils nouveaux et ensuite d'entraîner le personnel à les bien utiliser, on peut parvenir à faire 20 % d'économie sur le chiffre d'affaires, je pense que cela vaut la peine d'acquérir un outillage nouveau.

J'espère, d'après la longueur de cet exposé, que quelques-uns parmi vous profiteront de ce que j'ai avancé et deviendront peut-être ensuite des propagandistes, je serais alors largement payé et je vous en remercie d'avance.

DISCUSSION

M. LE PRÉSIDENT. — Je vais être votre interprète en remerciant M. COMTET de son exposé extrêmement objectif et intéressant. Je vous rappelle qu'il serait heureux de connaître vos observations et vos suggestions.

M. ALACOLAS RABOUT. — Pour le pistolet à cartouche, on est obligé maintenant d'utiliser des pare-éclats, mais de nombreux ouvriers refusent de s'en servir.

M. GUÉRIN. — Les accidents que vous avez signalés sont-ils postérieurs ou antérieurs à ce système ?

M. COMTET. — La plupart des accidents ont eu lieu avec des appareils possédant un pare-éclats, mais celui-ci est généralement enlevé, soit qu'il gêne pour poser l'outil convenablement, soit que l'ouvrier ait enlevé le pare-éclats lors du démontage.

M. GUÉRIN. — Cela devient impossible actuellement.

M. COMTET. — Je le crois aussi.

M. MARTEL. — J'ai vu récemment un plombier sur un chantier qui n'avait pas de pistolet et cela se comprend un peu quand il s'agit de carreaux, de faïence. Il utilisait, je crois, une perceuse Peugeot avec des mèches, de l'ordre de prix de celles dont vous parliez, de 10 000 à 15 000 F; il en était enchanté et il estimait qu'il n'avait pas besoin de pistolet.

M. LALAIRE. — M. COMTET disait tout à l'heure que la propagande était mal ou pas faite. Je crois que c'est le gros point de la question, il y a énormément de gens qui sont dans la même profession et qui ne connaissent pas l'appareillage, même courant, et celui-ci, qui est tout nouveau, ils ne le connaissent pas du tout. Je crois que là il y a une propagande de la part des fabricants, et peut-être de notre syndicat, qu'il faudrait faire plus en profondeur. Cette conférence est un commencement.

M. COMTET. — Il faut apprendre aux fabricants à faire leur métier.

M. LALAIRE. — Peut-être, et qu'ils se mettent d'accord avec nous aussi, de temps en temps. Nous sommes très loin des fabricants, je ne sais pas à qui incombe la faute, mais il faudrait se rapprocher. Nous le faisons dans beaucoup de cas, mais là encore il faudrait que les fabricants pensent que l'outil n'est pas fait pour mettre dans un placard, mais pour servir l'installateur.

M. COMTET. — M. le représentant de la machine à fraiser est là, il va vous la présenter.

L'OPÉRATEUR. — Cet appareil a été conçu par les Suisses pour rainurer les murs jusqu'à 3 cm de profondeur sur une largeur variable : ses caractéristiques sont les suivantes : moteur 2 000 W; vitesse 1 500 tours; poids 11 kg (c'est-à-dire poids nécessaire pour que la machine descende seule quand elle est encastrée).

Vitesse de coupe, le mètre réalisé en 74 s dans le béton vibré, alors que la même longueur est réalisée à la main en 22 mn.

M. LALAIRE. — Les ouvriers étrangers qu'on a vu travailler avec ces outils se sont plaints de la fatigue qu'ils créent.

L'OPÉRATEUR. — Les ouvriers doivent travailler par équipe de deux, à raison de deux à trois heures chacun.

En ce qui concerne la durée des fraises, à Nice, dans le béton creux, nous avons fait 2 200 m avec la même fraise.

M. GOURMAND. — Je pense que ce qui est intéressant, indépendamment de la durée des mèches, c'est la durée de l'ouvrier, c'est-à-dire ce qu'ont mentionné un certain nombre de collègues, la fatigue à l'emploi. C'est indéniable et il me semblerait indispensable qu'on se penchât sur cette question là. Je ne suis pas constructeur, mais est-ce qu'on ne pourrait pas envisager un support ?

L'OPÉRATEUR. — L'ouvrier ne porte pas l'appareil dont le poids est nécessaire pour le faire descendre. Nous l'avons d'abord évalué à 6 kg, puis nous l'avons monté à 10 kg et nous sommes maintenant à 11 kg. Il est très pénible de le tenir à 6 kg. A 10 kg il sortait encore du mur : à 11 kg, il ne sort plus et descend seul.

UN AUDITEUR. — Et pour une tranchée horizontale ?

L'OPÉRATEUR. — Dans un immeuble, si vous avez des tranchées horizontales à faire, elles sont à un niveau donné et vous pouvez utiliser un petit support.

M. GOURMAND. — Et au plafond ? Le propre de notre métier c'est de faire des travaux jamais semblables dans des locaux toujours différents et dans des conditions différentes. C'est ce qu'on oublie souvent.

Sur un type de matériel comme celui-là, le rendement brut est intéressant, mais ce qui est le plus intéressant, ce sont les conditions d'emploi parce que, comme le disait M. COMTET tout à l'heure, ce qui nous intéresse, c'est de voir le temps effectif passé pour un travail donné, auquel s'additionne un tas de temps annexes, de préparation, de mise en place, de repos, etc... Donc des valeurs absolues de rendement ne nous intéressent que d'une façon tout à fait relative.

Ce qui est donc intéressant dans cet outillage, c'est d'en prévoir les accessoires comme utilisation normalement continue.

L'OPÉRATEUR. — J'ai vu des installations complètes qui se faisaient avec vingt-deux hommes; à Nice, dernièrement, à côté de l'aéroport, pour 1 500 appartements, l'installation complète a été faite avec huit hommes et trois appareils. Maintenant, si vous voulez travailler toujours à l'horizontale, l'appareil sera trop lourd.

Les thèses et la méthode d'exposition adoptées par les conférenciers et les personnes qui prennent part aux discussions peuvent parfois heurter certains points de vue habituellement admis. Mais il doit être compris que ces thèses et discussions, à l'égard desquelles l'Institut Technique ne saurait prendre parti, ne visent en rien les personnes ni le principe des Institutions.

(Reproduction interdite.)

SUPPLÉMENT AUX

ANNALES DE L'INSTITUT TECHNIQUE DU BATIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS

JANVIER 1958

Onzième Année, N° 121

Série : QUESTIONS GÉNÉRALES (35)

CENTRE D'ÉTUDES SUPÉRIEURES

SÉANCE DU 4 JUIN 1957

SOUS LA PRÉSIDENCE DE **M. R. BERTHET.**

Vice-Président du Comité National de l'Organisme Professionnel de Prévention du Bâtiment
et des Travaux Publics.

PRÉVENTION TECHNIQUE ET PRÉVENTION MÉDICALE SUR LE CHANTIER TÉMOIN DE PONTURIN (Savoie)

par

M. VERDIER,

Ingénieur A et M et IEG

et le **Docteur CASSAN,**

Médecin du Travail, Moniteur de clinique à la Faculté de Lyon,
Diplômé de Pneumo-Phtisiologie.

PRÉSENTATION DU PRÉSIDENT

Vous êtes invités à entendre aujourd'hui un exposé relatif à la Prévention Technique et à la Prévention Médicale sur le chantier témoin de Ponturin.

L'importance des accidents du travail et des maladies professionnelles sur les chantiers d'équipement hydroélectrique, avait déterminé l'ouverture, dans la région Rhône-Alpes, d'un chantier témoin.

Le protocole d'accord ayant précédé le lancement de cette expérience date du 15 octobre 1953.

Cet accord intervenait entre :

- l'Institut National de Sécurité;
- la Caisse Régionale de S. S. Rhône-Alpes;
- l'Organisme de prévention du Bâtiment et des Travaux Publics;
- l'Electricité de France Alpes I;
- l'Entreprise Billiard;
- l'Entreprise Dalver.

Le but de ce protocole d'accord était de fixer les éléments d'un plan de sécurité, les obligations des Entreprises et les modalités de subventions et récompenses.

Les dispositions techniques mises en œuvre seront exposées par M. Verdier, Ingénieur des Arts et Métiers et de l'Institut Electro-Technique de Grenoble, gérant des Entreprises Verdier et Dalver.

La partie médicale sera présentée par le Dr Cassan, Médecin du Travail, Moniteur de clinique à la Faculté de Lyon, diplômé de Pneumo-Phthisiologie.

Ces deux conférenciers étaient particulièrement indiqués pour présenter les conclusions d'une expérience intéressante dans la lutte entreprise contre la silicose sur les chantiers de Travaux Publics.

Des articles ont paru dans les Cahiers de l'O. P. P. B. T. P. de 1954 à 1957, mais il est toujours plus intéressant de recueillir directement les impressions des auteurs et témoins d'une telle expérience. Je passe donc la parole à M. Verdier.

RÉSUMÉ

La fréquence et la gravité des accidents du travail, des maladies professionnelles sur les chantiers d'équipement hydro-électrique ont déterminé *Electricité de France*, l'Institut National de Sécurité, la Sécurité Sociale et l'Organisme professionnel de Prévention du Bâtiment et des Travaux Publics, à mettre en œuvre des dispositions particulières sur un chantier témoin, notamment :

1. Interdire l'emploi de la ventilation soufflée;
2. Utiliser les marteaux avec dispositifs efficaces d'injection d'eau;
3. Laver les parois, arroser les déblais après chaque tir;
4. Assurer l'application des mesures de sécurité dans l'utilisation des explosifs et amorces électriques;
5. Généraliser la mise en œuvre d'un plan de secourisme;
6. Organiser la prévention médicale.

Toutes ces dispositions se sont révélées particulièrement intéressantes dans le creusement d'une galerie de 5,5 m² de section et de 6 815 m de longueur sans fenêtres, à 1 850 m d'altitude.

L'empoussiérement a été réduit dans la proportion de 10 à 1 par rapport à des chantiers analogues exécutés à peu près à la même époque

SUMMARY

The frequency and gravity of professional accidents and diseases on hydro-electric construction sites have resulted in certain measures being put into operation on a test site by the *Electricité de France*, the *Institut National de Sécurité*, the *Sécurité Sociale* and the *Organisme Professionnel de Prévention du Bâtiment et des Travaux Publics*. Amongst the measures were notably:

1. Prohibition of blown ventilation;
2. Use of hammers fitted with efficient water injection devices.
3. Washing of the walls and watering of the excavated material after each shooting;
4. Strict application of safety measures in the use of explosives and electric detonators;
5. Setting up of a global first aid plan;
6. Organized system of preventive medicine.

All of the measures proved of high interest during the digging of a gallery of 60 cu ft. section and 2 000 feet long without apertures at an altitude of 5 500 ft.

The dust quantity was reduced in the proportion of 10 to 1 compared with similar sites put in operation at about the same time.

EXPOSÉ DE M. VERDIER

Je voudrais tout d'abord remercier M. BERTHET d'avoir bien voulu accepter la présidence de cette séance d'étude avant de vous entretenir du sujet qui nous intéresse.

Après la signature des marchés de Ponturin par les entreprises, *Electricité de France* a pris l'initiative de convoquer les entrepreneurs, de réunir tous les organismes intéressés et de faire signer un protocole ou tout au moins de mettre au point un protocole qui nous imposait, comme vous l'a dit tout à l'heure le Président, certaines clauses concernant la sécurité sur les chantiers de perforation.

Ces clauses comprenaient la prévention de la silicose, prévention technique et prévention individuelle, et également les différentes dispositions à prendre concernant les accidents de circulation, les avalanches, etc.

Il était bien précisé qu'à la suite de ce protocole, les différentes dépenses relatives à ces dispositions n'intervenaient pas dans le montant des travaux, les entreprises étant dédommées par ailleurs des frais entraînés par les dispositions à mettre en œuvre.

Mais, direz-vous, les entreprises n'étaient-elles pas astreintes à l'application de mesures diverses imposées par la réglementation en vigueur? Nous répondrons

affirmativement. Nous étions obligés, par les règlements en vigueur d'appliquer toutes les mesures préventives, mais, pour bien comprendre le but de ce protocole, il faut tout d'abord se mettre dans les conditions de travail des chantiers de perforation en montagne, telles qu'elles étaient conçues et appliquées ces dernières années.

Sans remonter à la période antérieure à 1940 où les chantiers de travaux publics ignoraient pour la plupart la perforation à injection d'eau, le chargement mécanique, la traction mécanique et même dans de nombreux cas la ventilation pour les galeries allant jusqu'à plusieurs centaines de mètres de longueur, nous avons connu pendant la période de 1945 à 1952 de nombreux chantiers où il a été difficile de faire appliquer la perforation à injection d'eau et où la ventilation soufflée était de règle. Beaucoup de divergences de conception dans l'organisation, beaucoup de méthodes, toutes valables du point de vue de l'entrepreneur, beaucoup d'observations sans grand effet de la part des services de contrôle n'avaient pas permis de dégager les avantages ou les inconvénients de ces méthodes.

C'est très certainement cette situation qui a entraîné les services de sécurité et EDF à mettre à l'épreuve certaines méthodes, à relever certains résultats, et, en définitive, à profiter du chantier de Ponturin, particu-

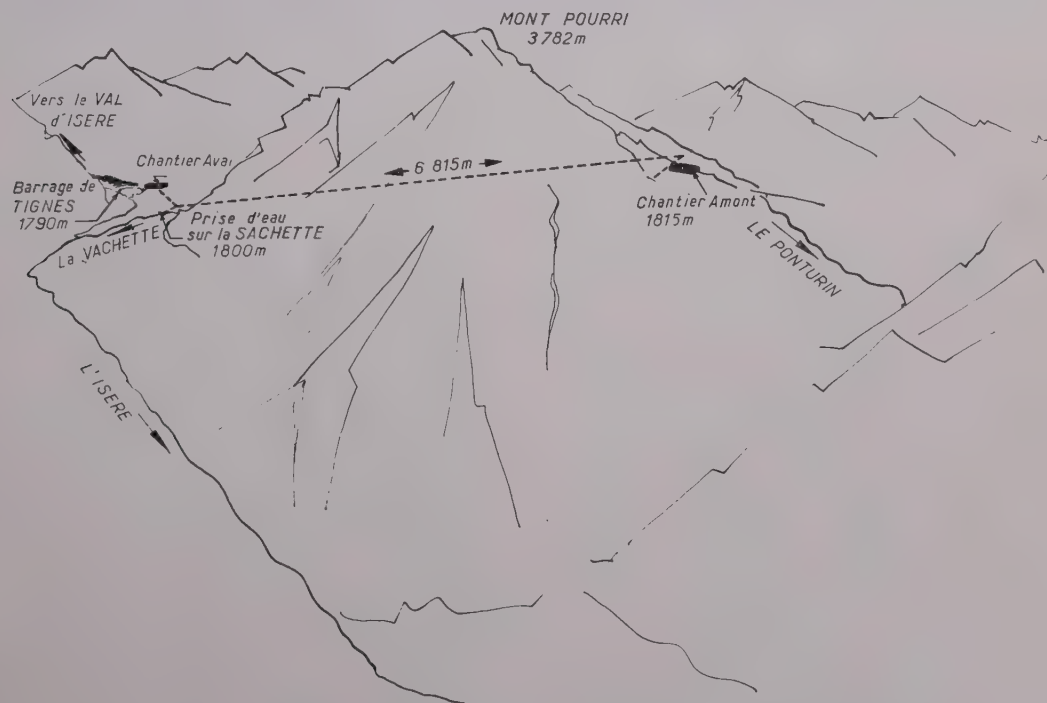


FIG. 1. — Tracé de la galerie reliant la vallée de Ponturin au barrage de Tignes.

L'ensemble du tracé se trouve dans le massif du mont Pourri. La charge maximum sur la galerie est de l'ordre de 1500 m.



FIG. 2. — Chantier de Ponturin. Attaque amont. Photo d'ensemble du site particulièrement hostile en hiver. On remarque sur la droite, et un peu au-dessus du milieu de la photographie, la station du téléphérique correspondant à l'attaque de la galerie. Au premier plan, une avalanche importante.

lièrement difficile, pour en faire un chantier témoin avec l'espoir d'en tirer certaines conclusions qui pourraient ensuite être fortement conseillées voire même imposées dans des cas analogues.

Les conditions particulièrement difficiles de Ponturin étaient les suivantes :

- situation dans un massif montagneux très avalancheux pour l'attaque amont et aval;
- grande longueur de galerie (6 800 m) sans fenêtre entre Ponturin et la Sachette;
- section réduite : 5,250 m²;
- la roche contient en moyenne 50 à 60 % de silice.

A cela s'ajoutait pour l'attaque amont côté Ponturin un accès particulièrement dangereux en hiver sur une longueur de trois kilomètres environ, les avalanches provenant de la rive droite ou de la rive gauche pouvant balayer pistes et téléphériques d'accès.

Il faut bien voir que la Direction d'Electricité de France n'a pas hésité à affronter les risques découlant d'une telle situation pour faire de Ponturin un chantier témoin, profitant à dessein des difficultés de toutes sortes qui rendaient ce chantier particulièrement dangereux.

C'est ainsi que le plan de sécurité débutait par le chapitre premier.

A. — PRÉVENTION DE LA SILICOSE

1. Prévention technique.

a) La ventilation se fera en principe par aspiration continue sur le canal principal avec un débit de 1 m³/s minimum soit 200 l/s par mètre carré de section.

b) L'arrosage des déblais et parois se fera à l'eau pulvérisée ou à la rigueur à la lance à jet plat.

c) La perforation à sec, par percussion, est interdite.

Les marteaux perforateurs à injection d'eau centrale doivent être munis d'un dispositif à échappement d'air interdisant toute émulsion eau-air; le soufflage d'air au fond du trou est interdit.

2. Prévention individuelle.

Des masques d'un modèle agréé seront tenus à la disposition du personnel :

- a) Masques à poussières.
- b) Masques à oxyde de carbone.

C'est évidemment sur l'ensemble de ce chapitre que portera l'essentiel de notre exposé; nous soulignerons plus loin les autres points techniques particuliers. Le Docteur Cassan vous parlera des constatations et des conclusions relevant de la Médecine du Travail.

Le protocole a tout d'abord mis en évidence la prévention contre la silicose; c'est là évidemment où la question du travail de perforation en galerie comporte à notre sens le plus de risques pour les mineurs. Toutes les autres opérations (mines, explosifs, circulations, séjour en montagne) peuvent entraîner des accidents mais leurs effets conservent un caractère particulier limité.

La silicose, elle, constitue le risque sournois permanent qui a à son effectif le plus grand nombre de victimes.

Pour le technicien, le problème est très simple à poser : pas de poussière, pas de silicose. Il faut donc perforer et charger sans produire de poussière et, s'il s'en produit les absorber, les canaliser pour qu'elles ne souillent pas l'atmosphère dans laquelle vit le mineur.

Nous considérons donc les différentes phases du travail en galerie dans leur ordre normal d'exécution.

B. — PHASES DU TRAVAIL

a) Perforation.

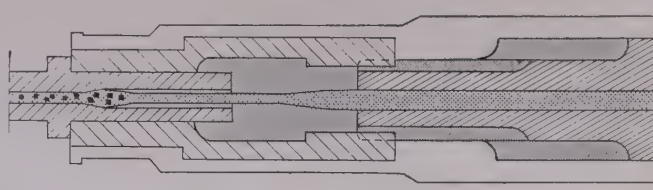
La perforation a été réalisée entièrement par injection d'eau centrale avec marteaux à fond avant décomprimé. Chacun de nous connaît les inconvénients de ce système; ils résultent de la liaison aiguille tête de fleuret, elle n'est pas étanche, et c'est par cette liaison que se fait l'entrée d'air qui s'échappe en partie du fond avant du marteau par suite du jeu du piston dans les bagues et l'aiguille d'injection; cet air vient émulsionner l'eau à l'intérieur de la tige du fleuret et, en se libérant au fond du trou, libère les particules de poussières enfermées dans les bulles d'air.

Les constructeurs de marteaux ont apporté ces derniers temps dans la construction de nouveaux modèles des modifications assurant une décompression des fonds avant plus efficace encore pour libérer immédiatement l'air provenant des fuites afin qu'il ne pénètre pas à travers le fleuret dans le circuit d'eau. C'est là un palliatif qui a amélioré très nettement les conditions de fonctionnement de l'injection d'eau par aiguille centrale. En tout état de cause le système présente de nombreux inconvénients : l'aiguille est très fragile, si elle se casse ou se bouche, l'eau n'arrive plus au fleuret, le graissage des marteaux est défectueux, leur fonctionnement irrégulier. La pression d'injection diminue avec le jeu de l'emmanchement et de l'aiguille.

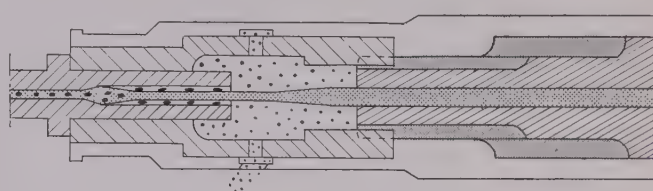
Un autre système connu et largement employé dans certains pays qui donne de bien meilleurs résultats est l'injection latérale. Là, la pression d'eau est appliquée directement à l'intérieur du fleuret par un dispositif comportant un manchon étanche; l'air comprimé ne pénètre pas dans le trou du fleuret; le graissage et le fonctionnement du marteau sont améliorés.

L'inconvénient majeur résulte de la fragilité que présentent les emmanchements des fleurets munis du trou latéral; la refécution de ces emmanchements est délicate et la mise au rebut plus fréquente. Avec les fleurets au

I. Marteau normal à injection d'eau centrale.



II. Marteaux à injection d'eau centrale avec décompression du guide-avant.



III. Marteau à injection d'eau latérale.

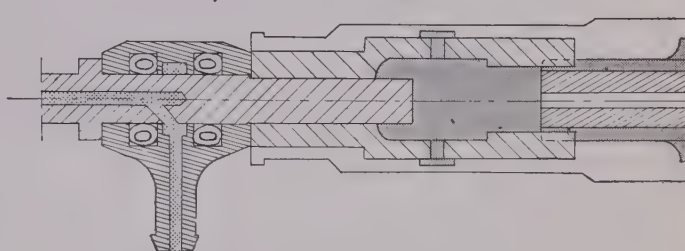


FIG. 3. — Différents types de dispositif d'injection d'eau — Seuls les types II et III peuvent être retenus pour assurer une injection efficace.

carbure de tungstène la dépense est très élevée; cependant, il faudrait bien en arriver là et obtenir de nos fabricants des fleurets à injection latérale qui résistent.

A Ponturin il a été utilisé pour exécuter des sondages de reconnaissance, un marteau avec fleurets à injection latérale (tiges à rallonges); les résultats comparatifs ont été les suivants :

Les indices de poussières au tyndalloscope Leitz relevés dans les mêmes conditions de perforation sont de 3,1 avec injection centrale, contre 1,1 avec injection latérale.

Une solution efficace est apportée dans de nombreux cas par la foration roto-percutante qui utilise également l'injection latérale.

Nous souhaitons une intervention des organismes de sécurité auprès du syndicat des constructeurs pour amener ces derniers à mettre au point des systèmes et des outils donnant satisfaction. Cette action pourrait aller dans un temps assez proche jusqu'à l'homologation de modèles, tout appareil non homologué ne pouvant être utilisé pour les travaux en terrains siliceux.

b) Tir et chargement.

Le tir entraîne la projection et la fragmentation des déblais, il est ainsi générateur de gaz nocifs et de grande quantité de poussières mais, dans cette période du cycle, le personnel est éloigné de la zone dangereuse et attend que la ventilation ait rempli son office. C'est à ce moment là que la ventilation auxiliaire est mise en action.

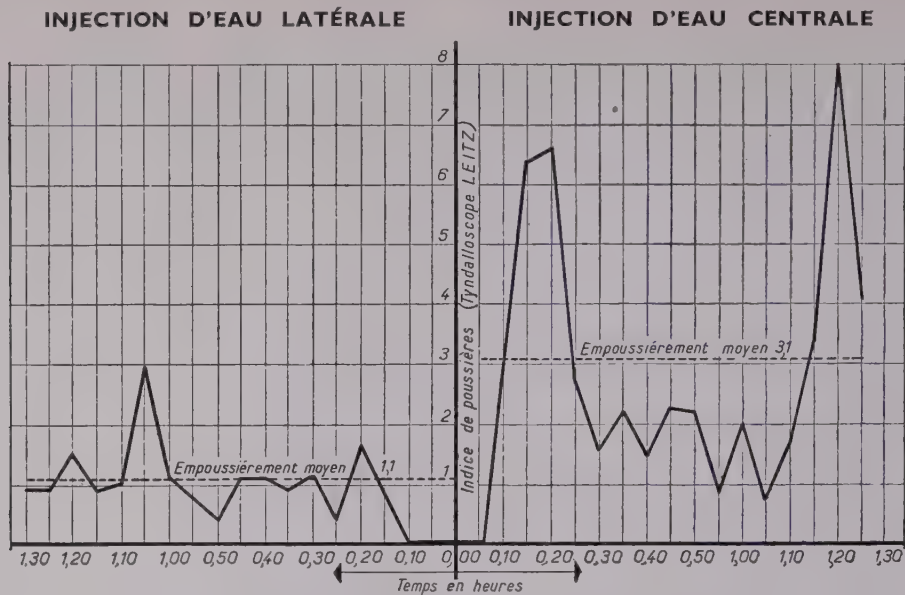


FIG. 4. — Essais comparatifs et mesures de poussières avec fleuret à injection d'eau latérale et fleuret à injection d'eau centrale.

Un ou deux ouvriers munis de masques à poussières mettent le dispositif de ventilation auxiliaire en action. **Inconvénient :** brassage d'air pollué entre le fond et l'aspiration.

A la suite des expériences de Ponturin, nous avons préféré prolonger en permanence l'aspiration encore plus près de l'avancement, même en courant le risque de détériorer quelques éléments de tube de faible valeur faciles à remplacer. On évite ainsi la dilution des poussières par brassage de l'air dans la zone de travail.

C. — VENTILATION ET ARROSAGE DES DÉBLAIS AU COURS DU CHARGEMENT

Le chargement est une opération qui engendre beaucoup de poussières et cela malgré le mouillage; certaines roches sont faciles à mouiller, d'autres très difficiles; les grains cubiques se mouillent plus facilement, les grains plats se protègent les uns les autres et pratiquement sont très difficiles à mouiller. Sous une épaisseur pouvant atteindre dans certaines sections plusieurs mètres de hauteur de déblais, le mouillage efficace avant chargement est impossible. Pratiquement le mouillage ne peut se réaliser qu'à l'aide d'un jet porté par l'engin de chargement lui-même, utilisé en permanence; le lavage des parois doit se faire également pour évacuer la poussière produite au moment du tir.

Tout ce que nous venons de dire et que nous avons pu constater indique que nous ne pouvons pas, dans l'état actuel de la technique supprimer les poussières; nous parvenons à limiter leur production par le seul moyen de l'emploi de l'eau de mouillage, celles qui échappent ne doivent pas pour autant être laissées en liberté et c'est là que la ventilation doit faire le reste : enlever l'air souillé sur toute la longueur de la galerie et apporter de l'air pur. Seul le dispositif par aspiration peut donner satisfaction; ainsi l'air pur rentrera par la galerie et la tuyauterie servira de collecteur à l'air usé et souillé.

Ne pas omettre de rejeter à la sortie l'air souillé assez loin de l'entrée; l'attaque amont de Ponturin a été très instructive à cet égard.

Elle était équipée de canars, tôle de 400 mm de diamètre de 8 m de longueur unitaire; les joints étaient réalisés par compression d'un tore de caoutchouc à l'aide de colliers, les fuites ont été limitées et n'ont pas dépassé, pour l'ensemble de la tuyauterie, plus de 30 % de l'air aspiré aux ventilateurs. Ceux-ci pour la longueur de 4 000 m perforés à partir d'une seule attaque étaient constitués par deux ventilateurs VHP 80 de 40 ch montés en série à l'origine de la galerie et un ventilateur auxiliaire à air comprimé de 500 mm de diamètre en bout de la tuyauterie à l'avancement; il a été maintenu par ce dispositif un débit de 1 000 litres seconde à 4 000 mètres.

Malgré une température intérieure du rocher de 24°, avec une couverture de 1 500 m la température ambiante n'a pas dépassé 25° au marirage.

On objectera que dans certains cas il est nécessaire que les ouvriers aient la sensation de recevoir de l'air frais directement. Nous répondrons : si c'est absolument nécessaire (cas de très grandes et longues galeries où la température est élevée) il faut envoyer de l'air soufflé par une tuyauterie auxiliaire installée sur toute la longueur de la galerie. En tout état de cause, il faut que le débit de l'air soufflé soit toujours inférieur au débit de l'air aspiré au fond pour qu'un courant d'air pur soit maintenu dans la galerie et que la tuyauterie d'aspiration soit bien l'éégout pour que l'atmosphère de la galerie soit saine.

Si nous avons insisté sur ces questions, c'est que nous avons pu constater récemment combien certains d'entre nous sont réticents pour apporter les changements qui s'imposent; il y va de la santé et de la vie du personnel de nos entreprises.

Nous vous donnons ci-dessous les résultats relevés par le Service Prévention de la Caisse Régionale de Sécurité Sociale Rhône-Alpes à Lyon :

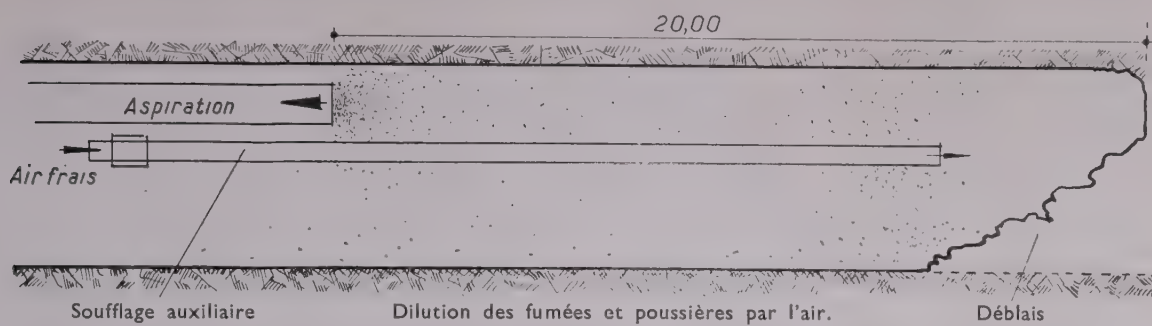


Fig. 5 a. — Dispositif de ventilation avec soufflage auxiliaire.

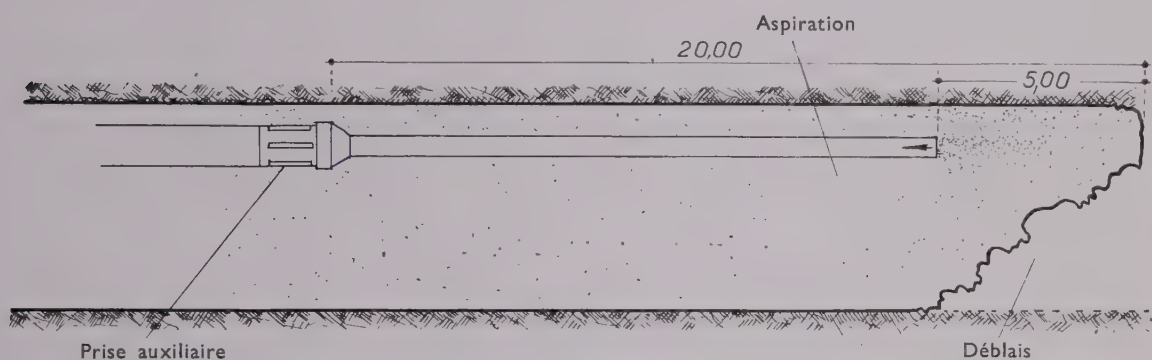


Fig. 5 b. — Aspiration à l'avancement.

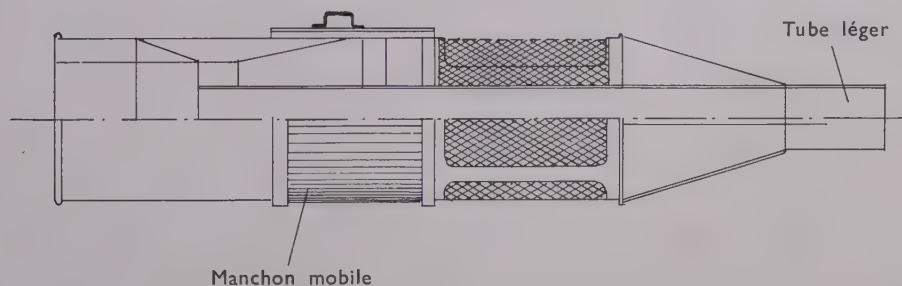


Fig. 5 c. — Dispositif spécial.

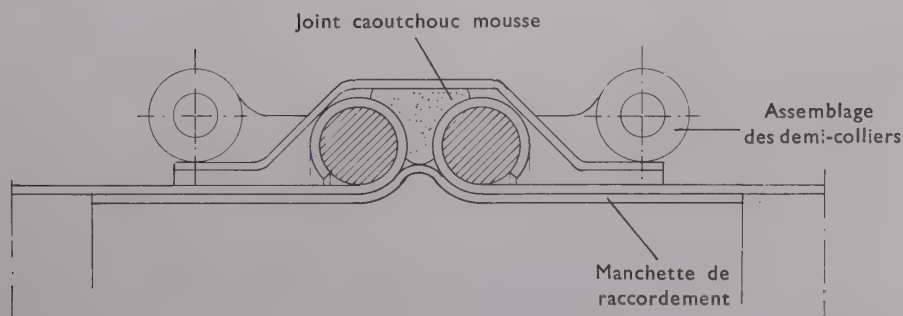


FIG. 6. — Joints d'assemblage pour tuyaux de ventilation
(ont donné d'excellents résultats du point de vue robustesse et étanchéité).

Observations.

Les prélèvements ont été effectués avec des appareils A. R. M.

Les nombres se rapportent aux particules $\leq 3 \mu$ contenues dans un litre d'air prélevé.

Ambiance extérieure concerne l'air sur la plate-forme extérieure.

Ambiance galerie concerne les prélèvements effectués en arrière du débouché du canar principal de ventilation.

Pendant la perforation concerne les prélèvements faits dans la zone où travaillent les mineurs pendant la perforation.

Pendant le marinage concerne les prélèvements faits dans le voisinage de la pelle.

Chantier attaque Aval : Entreprise Billiard.

- Galerie section : 5,250 m²;
- perforation avec deux ou trois marteaux sur poussoirs;
- marinage : Pelle Eimco 21;
- ventilation en aspiration D = 450 mm, avec prolongement au front par ventube.

Chantier Amont : Entreprise Dalver.

- Galerie section : 5,250 m²;
- perforation Jumbo quatre marteaux;
- marinage : Pelle Eimco 21;
- ventilation en aspiration D = 400 mm avec soufflage auxiliaire.

Empoussiérement moyen

	ENTREPRISE BILLIARD	ENTREPRISE DALVER
Ambiance extérieure	57 000	52 000
Ambiance galerie.	94 000	147 000
Perforation	303 000	517 000
Marinage	267 000	408 000

Ces chiffres indiquent la moyenne de tous les prélèvements effectués.

Les chiffres relevés côté Boisse sont dans l'ensemble inférieurs à ceux relevés côté Ponturin; il y a à cela une explication.

Dans l'ensemble la partie de galerie côté Boisse a rencontré de nombreuses venues d'eau; la partie côté Ponturin a été perforée entre les points 500 et 4012 sans rencontrer une seule venue d'eau en galerie.

Néanmoins, les chiffres d'ambiance sont très comparables.

La différence des chiffres perforation s'explique par le fait que d'un côté la perforation s'est faite avec deux ou trois marteaux, de l'autre avec quatre marteaux.

Les chiffres indiqués sont, comme nous le disons plus haut, des moyennes; ils peuvent varier dans de grandes proportions jusqu'à atteindre deux millions de particules, notamment quand le travail ne se fait pas dans les conditions normales (arrêt de l'injection d'eau, pannes de ventilation, etc...).

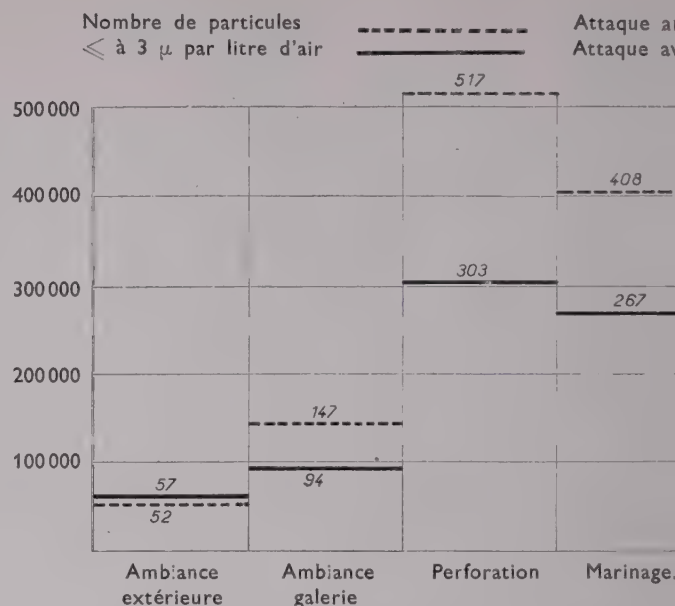


FIG. 7. — Tableau de la moyenne d'empoussiérement en différents points des chantiers pendant l'expérience de Ponturin.

Pour montrer l'intérêt de ces méthodes de travail le même organisme nous a communiqué le résultat de mesures faites en 1952.

Sur le chantier de Montpezat (1952)

- Section 13 m², longueur 1 500 mètres;
- ventilation par refoulement, débit 1 m³ seconde;
- *ambiance moyenne* 1 450 000 particules (en dehors du front de taille).

Sur le chantier d'Isère-Arc (1952)

- Galerie amont, section 42 m², longueur 5 000 mètres;
- ventilation par refoulement, débit 9 m³ seconde.
- *ambiance moyenne* de PK 0 à PK. 3 000 : 2 000 000 de particules, et il était courant de trouver de 5 à 10 000 000 de particules dans les zones de travail.

Nous constatons par ces chiffres la diminution de l'empoussiérement obtenu à Ponturin.

Avec l'aspiration, la teneur en particules de l'air de la galerie se rapproche de celle de l'air extérieur.

52 000 — 57 000 à l'extérieur

94 000 — 147 000 en galerie.

Avec le soufflage les chiffres d'empoussiérement de la galerie sont de dix à douze fois plus élevés; dans ce cas, il est bien certain que dès son entrée en galerie le personnel est en permanence dans une atmosphère nocive.

Avec l'aspiration, ce n'est que pendant son séjour au front que le personnel est soumis à l'empoussiérement; cet empoussiérement lui-même est fortement réduit dans le rapport 1 à 8 ou 10; ainsi donc c'est pour le personnel, pour une grande partie du temps de séjour en galerie, la vie dans une atmosphère normale, et pour quelques éléments seulement pendant la perforation et le marinage, le séjour dans une atmosphère nettement améliorée au point de vue empoussiérement.

Autres mesures de prévention techniques.**Mines et explosifs.**

Tous les préposés à la mise de feu recevaient une instruction spéciale contrôlée par un délégué de l'O.P.P.B.T.P. D'une manière générale cette pratique a conduit en munissant les préposés d'un permis de tir à leur donner le sens de leurs responsabilités et à augmenter leur valeur professionnelle.

Le tir électrique a été systématiquement utilisé. Les dix kilomètres de galerie ont été perforés en utilisant des amorces ordinaires à retard. La vérification des circuits se faisait systématiquement en utilisant un ohmètre en bout de ligne.

Il y a eu un seul accident pour l'ensemble du chantier (entraînant deux morts), dû à un départ prématuré d'une partie de la volée chargée à la suite d'un coup de foudre.

Nous ne nous étendrons pas sur les circonstances de cet accident, les mesures préventives à prendre, pour l'instant les seules connues sont tir à la mèche en cas d'orage ou de menace d'orage.

Le tir électrique a permis dès sa mise en pratique dans les chantiers de travaux publics, de réduire dans de très grandes proportions le nombre des victimes par kilomètre de galerie perforée.

Si l'on s'en tient aux prescriptions simples comme l'interdiction de l'emploi de l'ohmètre au front de taille, l'interdiction de l'emploi d'amorces électriques en cas d'orages, on doit diminuer encore le risque.

Dans l'état actuel de la technique de construction des amorces électriques, les constructeurs offrent aux entreprises des amorces à haute intensité peu sensibles aux coups de foudre. Seule une longue expérience nous permettra de nous faire une opinion sur l'efficacité de cette nouvelle conception.

Les manifestations de la foudre sont très variées et il semble bien que le problème ne sera pas résolu avant que deux conditions au moins et essentielles celles-là soient réalisées.

1) Création dans toute la galerie d'un milieu équipotentiel jusques et y compris le front de taille.

2) Déclenchement des amorces par un courant de forme différente de celui qui se manifeste dans la chute de la foudre (courant haute-fréquence par exemple).

Nous savons qu'EDF se préoccupe de la question, que des essais sont en cours, nous souhaitons qu'ils passent prochainement au stade pratique.

Détecteurs d'orages.

Les appareils en service à ce jour ne sont pas d'un fonctionnement parfait. Néanmoins, dès qu'ils fonctionnent, ils doivent entraîner l'obligation du tir à la mèche, même si leurs indications sont douteuses.

Circulation en galerie.

Celle-ci était limitée au minimum, les postes rentrant ou sortant à l'aide de trains comportant un wagon à banquettes.

Des niches tous les 80 mètres nécessaires à la manœuvre des wagons, constituaient des refuges spacieux; les trains étaient équipés de signalisations lumineuses : phares, cataphotes; des dispositifs réfléchissants signalaient les points particuliers.

Eclairage.

Entièrement assuré par éclairage individuel (lampe électrique au casque).

Téléphone.

Le téléphone a été utilisé pour assurer la liaison entre l'avancement et l'extérieur; il a été très utile au cours de l'accident dû à un départ intempestif d'amorces par temps d'orage; il a permis d'alerter les secours dans un délai très réduit.

Secours d'urgence.

Chaque chantier était équipé :

- 1) D'un poste de secours en galerie avec brancard, couvertures, à 300 m du front.
- 2) d'une infirmerie au cantonnement;
- 3) d'une voiture ambulance en état de marche.

Avalanches.

Le chantier côté Ponturin se trouve dans une zone particulièrement exposée aux avalanches. Les précautions prises ont été importantes.

Le cantonnement principal a été évacué systématiquement pendant la période d'hiver; le personnel était logé moins confortablement mais plus sûrement dans les maisons d'un village.

Le tracé du téléphérique a été choisi pour donner le plus de sécurité possible.

Les installations de la fenêtre (compression, ventilation, poste de transformation) ont été faites dans une chambre souterraine. Et enfin, dans les périodes de fort enneigement, le personnel a été replié à Nancroix.

Malgré ces précautions :

Le 17 janvier 1955 un ouvrier a été pris dans une coulée de neige en vidant un wagon à la décharge d'une fenêtre d'une galerie auxiliaire; il est resté enseveli pendant quatre heures. Après une intervention de trois heures, grâce aux instructions de secourisme reçues par ses camarades, il put être rappelé à la vie.

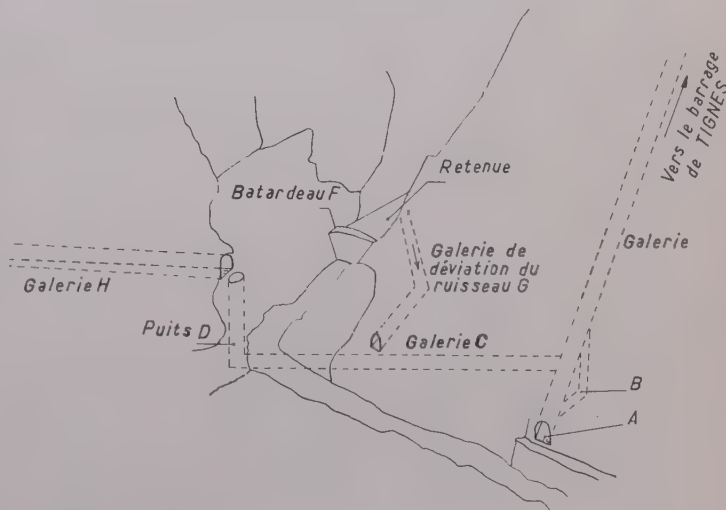


FIG. 8. — Schéma des installations de la tête amont

- | | |
|--|---|
| A) sortie des galeries | G) galerie de dérivation provisoire pendant l'exécution des travaux |
| B) galerie des installations souterraines | |
| C) galerie d'accès de la galerie principale au puits D | H) galerie de la rive droite. |

Le 10 juin 1955 à la suite d'une forte élévation de température et de fortes pluies à haute altitude, une avalanche venant de la cote 3350 obstruait entièrement sous une épaisseur d'une dizaine de mètres de neige de glacier une largeur de 50 à 60 m et une grande longueur la gorge du Ponturin à l'emplacement de la prise d'eau, recouvrant tous les accès aux galeries. Par suite de circonstances imprévisibles elle bouchait la dérivation provisoire, mettait en eau un puits utilisé normalement comme sortie de secours, entraînant la mise en eau de la galerie sur une longueur de 2 000 m. Neuf ouvriers et chefs d'équipes se trouvaient à ce moment là dans la galerie, deux d'entre eux précédant leurs camarades voulurent se porter rapidement vers la sortie dans le but de préparer les travaux de déblaiement, ils furent retrouvés noyés; les sept autres enfermés pendant sept heures dans la galerie en furent quittes pour un bain forcé; cela c'est la rançon du séjour en montagne en tous temps.

Côté financier de l'opération.

Des participations importantes de la Sécurité Sociale et de l'O. P. P. B. T. P. ont compensé dans une certaine mesure les dépenses prévues par l'application des différentes prescriptions du plan de sécurité, et des primes ont été réparties au personnel suivant un barème en fonction des résultats obtenus dans la diminution de l'empoussièrément.

Les entreprises ont connu au départ un climat assez différent de celui que l'on rencontre sur les chantiers, mais au bout d'un certain temps, tout est devenu normal et l'application du plan de sécurité a été réalisée sans difficultés particulières de part et d'autre.

Des réunions trimestrielles permettaient de faire le point et d'apporter les correctifs nécessaires.

CONCLUSIONS

L'expérience du Ponturin malgré la durée du chantier a été poursuivie de bout en bout sans négligence. Les représentants des organismes intéressés procédaient trimestriellement à une visite et, au cours d'une conférence, la critique de l'organisation et les constatations faites permettaient de relever éventuellement les erreurs ou fautes qui auraient pu être commises et d'y remédier.

En fin de chantier, l'opinion était unanime; nous en ferons notre conclusion.

1. Interdire l'emploi de la ventilation soufflée; généraliser la ventilation par aspiration en améliorant encore les dispositifs qui peuvent assainir l'atmosphère au front;

2. Intervenir auprès des constructeurs de marteaux, engins de perforation, fleurets, pour qu'ils nous donnent un matériel avec injection d'eau d'une robustesse et d'une efficacité sans défaillance;

3. Intervenir auprès des services de recherches, des fabricants d'explosifs et d'accessoires, pour que la protection contre la foudre soit assurée;

4. Et enfin pousser de plus en plus l'éducation professionnelle de notre personnel.

L'amélioration des conditions de travail dans les galeries en augmentant la sécurité du personnel, nous permettra de conserver ce dernier dans les effectifs permanents en lui assurant des conditions normales de travail et de vie. Sur nos chantiers, nous devons trouver un climat de plus en plus confiant, c'est une question de collaboration et de discipline à tous les échelons.

Nous n'oublierons pas de classer au titre de la sécurité la mise en œuvre d'une mécanisation de plus en plus poussée afin que, par l'emploi d'un matériel plus puissant et plus robuste, la productivité du personnel soit augmentée pour permettre, à production égale, la diminution du nombre de ceux qui sont exposés à l'atmosphère viciée, aux dangers de l'explosif, et en conséquence de diminuer le nombre des victimes possibles, tout en contribuant à faciliter et rendre plus saine la tâche de l'exécutant.

C'est là où l'intérêt bien compris de chacun rejoint l'intérêt général.

La collaboration des organismes de sécurité et professionnels de l'EDF et des entreprises sous l'autorité de M. l'Ingénieur en Chef de la 6^e Circonscription aura permis de dégager ces conclusions. Nous pensons sincèrement qu'elles peuvent être dans leurs principes admises et appliquées dans tous les cas analogues. Elles permettront l'amélioration des conditions de travail et de vie du personnel étroitement liées à l'intérêt de l'entreprise et à l'intérêt général du pays.

Nous profitons de l'occasion qui nous est offerte pour remercier tous les représentants des divers organismes et *Electricité de France* qui se sont attachés avec une application continue et par une participation financière importante à réaliser et à mener à bien l'expérience de Ponturin.

M. LE PRÉSIDENT. — *En votre nom je remercie M. Verdier de sa causerie vivante et pratique, illustrée de croquis intéressants en ce qui concerne l'outillage.*

Avant de passer à la discussion générale, je vais donner la parole au D^r Cassan, pour la deuxième partie de la conférence.

EXPOSÉ DE M. LE DOCTEUR CASSAN

AVANT-PROPOS

Je remercie le Président d'avoir bien voulu me présenter si aimablement tout à l'heure et mes remerciements vont également aux personnes — et à M. le Professeur Raymond tout spécialement — qui ont bien voulu me confier la partie médicale de l'expérience.

M. VERDIER nous a exposé les méthodes de la prévention technique avec une compétence parfaite et il nous a convaincus de l'utilité de la prévention et de son efficacité. Il appartient maintenant au médecin de montrer comment la technique rejoint l'humain, qui reste notre préoccupation essentielle.

Il est hors de doute que les risques, les dangers encourus sur les chantiers d'équipement hydro-électrique en altitude représentent par leur fréquence et leur gravité un véritable fléau. Le personnel de ces chantiers paie un tribut exceptionnellenent élevé à l'accident du travail et à la maladie professionnelle.

Je ne parlerai pas des accidents du travail, et c'est dommage, car on vient d'évoquer un fait intéressant (soins d'urgence donnés par les compagnons à un camarade enseveli sous une avalanche). Sans aucun doute on a fait de gros efforts en faveur du secourisme sur le chantier de Ponturin; mais je crois qu'il faut nous consacrer ce soir surtout à l'étude de la silicose, car l'objet essentiel de cette expérience de Ponturin est la mise au point de la prévention de la silicose sur les chantiers d'équipement.

Pourquoi tant d'intérêt porté à cette maladie? Pourquoi cette convergence d'efforts, d'organismes en vue de lutter contre cette affection? La réponse est claire et tient en quelques mots :

La silicose est une maladie redoutable, actuellement au-dessus de nos ressources thérapeutiques, autrement dit incurable et souvent évolutive.

En second lieu la silicose est fréquente et particulièrement grave chez les perceurs de tunnel. Or, depuis plus de dix ans, on a perforé des centaines de kilomètres de galerie en France pour l'alimentation des centrales électriques, ainsi a-t-on produit des milliers de silico-tiques.

Enfin, maladie professionnelle réparée depuis l'ordonnance du 2 août 1945, la silicose coûte cher aux organismes de réparation, donc aux entreprises et au pays.

On se heurte à un problème très complexe qui touche à la fois à l'économique, au technique, à l'humain, au médical, au social; aucun de ces aspects ne doit être négligé.

Pour comprendre le but et les objectifs de la prévention technique qui vient d'être exposée, ainsi que les ambitions de la prévention médicale de la silicose, il ne sera pas inutile de rappeler brièvement ce qu'est la silicose pulmonaire, quelles sont ses causes et ses circonstances d'apparition, ses manifestations, son évolution, son traitement.

D'abord, qu'on me permette de saluer ici l'action courageuse entreprise par des médecins, le Professeur RAYMOND, le Dr SIVADON, le Dr NUSSBAUM et le Dr SARRASIN entre autres, et des ingénieurs et cadres de l'Institut National de Sécurité, des services de prévention E. D. F., de l'O. P. B. T. P., des Caisses de Sécurité Sociale, Caisse Nationale et Caisse régionale Rhône-Alpes, et des Services sociaux, celui de l'Entreprise Industrielle notamment, pour informer les milieux de travaux publics, les chefs d'entreprise, les cadres, les ouvriers sur la silicose et ses dangers. En sorte que le terrain est tout prêt maintenant pour parler librement de la silicose sans provoquer d'étonnement. C'est donc à un auditoire informé que je m'adresse, un simple rappel suffira.

PREMIÈRE PARTIE

LA SILICOSE PULMONAIRE

La silicose fait partie du vaste groupe des pneumoconioses ou maladies pulmonaires dues à l'inhalation de poussières. C'est la plus importante des pneumoconioses professionnelles et même la plus importante des maladies professionnelles en France (plus de 6000 cas déclarés chaque année depuis 1946) ⁽¹⁾, et dans le monde.

Depuis longtemps on avait remarqué que les personnes exposées à l'inhalation de poussières (les mineurs, les meuleurs, etc.) présentaient des atteintes pulmonaires fréquentes et graves; mais depuis le début du siècle, grâce à la radiologie et à de nombreux travaux, nos connaissances en matière de pneumoconioses se sont précisées. Des points et non des moindres, tels que la

pathogénie de la silicose, restent obscurs. Cependant certains faits sont à l'heure actuelle bien établis.

La législation en vigueur définit ainsi la silicose du point de vue de la réparation :

« La silicose, fibrose pulmonaire consécutive à l'inhalation de poussières renfermant de la silice libre, lorsqu'il y a signes radiographiques accompagnés de troubles : (dyspnée et fréquemment bronchorrée et toux) confirmés par des épreuves fonctionnelles de l'appareil respiratoire ».

Dans une autre colonne, sous la rubrique « travaux susceptibles de provoquer ces maladies », est dressée une liste : « travaux de forage, d'abattage, d'extraction de roches renfermant de la silice libre ». Tous les termes ont leur valeur; ce texte fournit précisément

(1) Thèse BARUCH Claude. La silicose dans les tunnels des Travaux Publics. Paris, 1956.

le cadre de notre étude. Nous envisagerons successivement :

1° Les circonstances d'apparition de la silicose.

2° La maladie elle-même.

I. — Les conditions d'apparition sont actuellement connues; les éléments qui entrent en ligne de compte sont de deux ordres : qualitatifs et quantitatifs; qualitatifs, c'est la nature, l'âge, la taille des particules; quantitatifs, c'est le nombre de particules et la durée d'empoussièrement, la durée d'exposition. Enfin, il existe un troisième facteur mal connu mais qui est indiscutable, c'est le terrain sur lequel se greffe la silicose.

Nous verrons donc d'abord la *nature de la poussière* : c'est un élément essentiel; première condition pour qu'il y ait silicose, il faut que les poussières inhalées contiennent de la silice libre (SiO_2). Les faits sont plus complexes qu'il ne paraît de prime abord. Dans la nature, la silice qui constitue environ 25 à 30 % de la croûte terrestre, se présente sous des formes variées et multiples : le sable, le quartz en contiennent 90 à 99 %, le grès 80 %, l'argile, le kaolin 50 %. La structure de ces poussières est importante; les formes cristallisées sont plus nocives que la silice amorphe; la cuisson même intervient : on s'est aperçu que la terre de diatomées qui, à l'état naturel, malgré un fort pourcentage en silice pure, est peu dangereuse, devient très nocive quand elle est calcinée à 1 000°, récupérant ainsi une structure cristallisée par augmentation de la cristobalite qui passe de 0,3 % à 35 %, cristobalite provenant elle-même des silicates transformés.

Ce sont précisément ces silicates, ces poussières combinées, qui compliquent le problème. Certes, on n'admet plus aujourd'hui la thèse de JONES qui voulait faire de la silicose une silicatose due à la séricite — silicate de potassium et d'aluminium. Mais en pratique il est souvent difficile d'apprécier la teneur en silice libre d'un empoussièrement (or ce qui compte ce sont les poussières inhalées et non la composition de la roche) et de la distinguer de la silice combinée aux silicates. D'authentiques silicoses ont d'ailleurs été dépistées chez les ouvriers exposés à des poussières de silicates presque purs (kaolin, tale).

Plus encore, on s'est aperçu que les poussières *inertes*, comme le charbon, jouaient un rôle non négligeable par effet mécanique d'encombrement des voies lymphatiques favorisant l'action spécifique des poussières de silice.

L'expérience classique de King le démontre clairement ⁽¹⁾. On réduit de la silice libre à l'état pur en particules fines de 1 micron; on injecte par voie intra-trachéale 1 mg de ces poussières chez des cobayes. Aucune lésion fibreuse ne se développe. On injecte 10 mg et on produit alors une silicose notable; on injecte 50 puis 100 mg et une silicose grave et, semble-t-il, proportionnelle à la quantité de quartz injecté, se déclare. Par contre, si on injecte 100 mg de charbon inerte pur, on provoque un tatouage qui met quelques semaines à disparaître mais il n'existe pas ou ne se forme pas de fibrose dans le parenchyme pulmonaire. Enfin, si on associe 1 mg de silice et 99 mg de charbon, inoffensifs pris séparément, on provoque des lésions fibreuses considérables. Le poumon élimine donc facilement et rapidement une petite quantité de silice; l'association charbon-silice, même si la silice était en minime quantité, provoque des lésions de fibrose.

Le deuxième facteur est l'*âge des poussières*; on sait que les poussières fraîches sont plus nocives que les poussières anciennes; il est classique de rappeler que les sables du désert ne produisent pas de silicose, bien qu'ils soient riches en silice pure.

Enfin, le facteur des *dimensions des poussières* est aussi à considérer : il est facile de comprendre que seules les poussières qui pénètrent dans les alvéoles pulmonaires sont dangereuses; or, on s'est aperçu que ces poussières dangereuses étaient des poussières inférieures à 5 microns et même à 3, les particules plus grosses étant retenues dans les voies aériennes supérieures. Si on a pu préciser la limite supérieure, la limite inférieure des particules dangereuses est insuffisamment connue. Avant la Conférence Internationale de Sydney sur les Pneumoconioses en 1950, on admettait que les poussières retenues dans les alvéoles pulmonaires s'échelonnaient de 5 microns à 1/4 de micron, soit jusqu'aux dernières particules visibles au microscope optique. A la conférence de Sydney, HACHT a attiré l'attention sur la nocivité des particules sub-microniques de diamètre compris entre 0,2 et 0,013 microns visibles seulement au microscope électronique.

Enfin la *quantité* est un facteur capital :

a) d'une part entre en ligne de compte le *nombre de poussières* respirées par le sujet exposé. Un pourcentage faible de silice mais compris dans une atmosphère très empoussiérée est susceptible de provoquer une silicose. Il est donc du plus haut intérêt de connaître, de mesurer cet empoussièrement : c'est l'objet de la granulométrie qui pose un problème technique de premier plan. Les appareils de mesure doivent être simples et robustes, fournir des résultats comparables. En France on emploie habituellement l'appareil ARM à filtre soluble mis au point par l'Ingénieur général AVY. Les prélèvements d'atmosphère doivent être assez nombreux pour donner du risque silicotique une vue exacte dans le temps et dans l'espace aux différents postes de travail. Les chiffres relevés varient considérablement suivant les industries et les postes de travail, suivant l'efficacité de la prévention technique. Je ne reviendrai pas sur les chiffres donnés au cours de l'exposé de M. VERDIER.

Une question se pose : existe-t-il un *seuil de nocivité*? Certains pays comme la Grande-Bretagne et les Etats-Unis ont fixé des chiffres qui ne donnent qu'un ordre de grandeur. « Aux Etats-Unis, pour des teneurs de quartz supérieures à 50 %, le seuil de nocivité semble être atteint aux environs de 180 000 particules de moins de 5 microns au litre. Pour des teneurs de quartz comprises entre 5 et 50 %, aux environs de 420 000 particules au litre » ⁽¹⁾. Ainsi que le souligne JARRY, « ces chiffres ne correspondent pas à des seuils biologiques. Il s'agit bien plutôt des chiffres d'empoussièrement qualitatifs et quantitatifs qu'on peut obtenir dans l'état actuel des modes d'exploitation et de la prévention technique. Et l'on peut, l'on doit même, abaisser ces chiffres au fur et à mesure des progrès de la technique ».

Quoiqu'il en soit, les mesures d'empoussièrement systématiques doublées du dépistage précoce de la silicose, permettent de guider avec rigueur la prévention technique, seule efficace. C'est ce qui a été tenté dans les Charbonnages où MM. QUINOT, AVY, JARRY, BALGAIRIES, utilisant deux variables : le nombre de particules par centimètre cube, dont la dimension est comprise entre 0,2 et 5 microns, et le pourcentage de silice

⁽¹⁾ La silicose. Problèmes techniques, médicaux et sociaux par LE HIR.

⁽¹⁾ MM. CAZANIAN et CHAMPEIX. Les critères d'ordre professionnel en matière de réparation de la silicose. In Arch. M.P.T. 18 n° 2 1957, p. 162-166.

de l'ensemble de ces mêmes particules, ont établi un indice dit « indice Koniotique » permettant l'étude coniolgique statistique des exploitations minières.

b) d'autre part entre en ligne de compte la *durée d'exposition*. Il est certain que la silicose est le résultat d'un contact prolongé avec les poussières; habituellement plusieurs années sont nécessaires, une durée minimum de cinq ans était exigée par les textes pour la réparation; il est non moins certain que cette durée minimum est variable suivant les industries et dans la même industrie, suivant la profession.

Dans les Houillères par exemple, qui sont en cause dans 90 % des cas de silicose réparés d'après CAZANIAN et CHAMPEIX, les emplois de mineurs au rocher, de piqueurs mixtes et de piqueurs au charbon, classés par ordre décroissant, représentent les emplois les plus silicogènes, ceux de tireurs, de surveillants exigeant un temps d'exposition beaucoup plus long.

Dans la métallurgie et dans la céramique, on observe des silicoses après vingt ans d'exposition.

On sait avec quelle rapidité, deux ans, parfois moins, les perceurs de tunnels des Alpes, des Pyrénées ont été atteints de silicose. Les observations qu'on a pu faire au cours des dernières années ont conduit le législateur à modifier les textes : actuellement aucune durée minimum n'est plus exigée lorsque la silicose est nettement caractérisée et reconnue par un Collège de trois médecins.

Enfin, le dernier facteur annoncé est le *facteur individuel de prédisposition* à la silicose; en effet, toutes les conditions que nous venons d'exposer n'expliquent pas tout; il existe une inégalité incontestable des hommes devant le risque de pneumoconiose, puisque seuls certains individus à risques égaux, sont touchés. Pour POLICARD les poussières de silice jouent un rôle particulier, mais un élément infectieux intervient et s'ajoute à l'action des particules; cet élément est le plus souvent le bacille de Koch.

Il a été établi expérimentalement que la silice favorise le développement du bacille de Koch et aggrave l'évolution du processus tuberculeux, vice-versa, la tuberculose favorise et aggrave la fibrose silicotique. En outre la silicose est favorisée par une atteinte primitive de l'arbre respiratoire (bronches et alvéoles pulmonaires) qui permet la fixation des poussières. Ces constatations ne laissent pas d'avoir une grande importance pour l'orientation de la prévention médicale dont elles constituent les fondements.

II. Les lésions pulmonaires de la silicose. Les poumons des silicotiques, à la nécropsie, montrent des lésions bien particulières. La lésion la plus caractéristique est le nodule silicotique de 1 à 2 mm de diamètre bien décrit par POLICARD. Ces nodules en plus ou moins grand nombre sont répartis dans les champs pulmonaires. Par ailleurs, il existe « des masses silicotiques qui ont un aspect très caractéristique; elles sont très dures à couper ayant la consistance du pneu d'auto. Certains de ces blocs sont homogènes, d'autres formés de nodules conglomérés ».

A ces lésions spécifiques s'ajoutent l'autres lésions qui vont contribuer grandement à diminuer la fonction respiratoire : lésions d'emphysème très importantes, lésions bronchiques, pleurales, ganglionnaires, vasculaires. « Devant des destructions aussi considérables

des poumons, on se demande comment les sujets ont pu vivre avec des champs d'hématose aussi réduits », ont écrit MM. ROCHE et TOLOT⁽¹⁾ (présentation au négatoscope de radiographies pulmonaires de silicotiques).

Nous connaissons bien les lésions radiologiques silicotiques, mais ce qui nous échappe c'est l'explication des phénomènes observés : comment agissent les poussières de silice pour aboutir à la fibrose silicotique? Pourquoi la fibrose silicotique continue-t-elle à évoluer même si on a soustrait l'individu au risque? Plusieurs théories ont été proposées; théorie mécanique faisant intervenir la dureté et les arêtes du quartz, théorie du lessivage des bases, théorie piézoélectrique, et la plus récente, la théorie électronique. Le nombre de ces théories indique suffisamment qu'on n'a pas encore touché au but.

III. Le silicotique. Au début, lorsqu'elle se constitue, la silicose est muette, c'est-à-dire que le sujet atteint ne présente rien de particulier; sa capacité de travail est normale; il n'accuse aucune douleur particulière; il tousse ou non; il crache ou non; un seul symptôme a de la valeur et peut amener le sujet à consulter : la dyspnée, la gêne respiratoire qui va s'aggraver progressivement et réduire la capacité de travail.

C'est pourtant au début qu'il faut faire le diagnostic si l'on veut obtenir un dépistage efficace. Seul l'examen radiologique permet de faire le diagnostic de silicose au début, et cet examen doit répondre à des normes précises.

L'évolution de cette silicose une fois constituée est variable, mais, fait capital, on n'assiste jamais à la régression. Parfois — et cela se voit principalement chez les sujets retirés assez tôt du risque — la maladie se stabilise; en règle, l'aggravation se produit surtout chez les individus maintenus au risque, soit lentement, soit rapidement : l'insuffisance respiratoire s'aggravant, l'aptitude au travail diminue et bientôt, même au repos, la respiration est accélérée; les radiographies successives montrent l'extension des lésions. Le malade est de plus en plus sensible aux infections saisonnières : bronchitiques, emphysémateux permanent il est guetté par des complications qui vont menacer gravement son état d'équilibre instable : complications cardiaques, c'est la terminaison dans l'insuffisance cardiaque; complications tuberculeuses surtout, c'est la redoutable silicotuberculose qui assombrit le pronostic.

La silicose abrège le cours de la vie. A côté de ces formes à évolution relativement lente et qui sont souvent des silicoses tardives, il existe des formes aiguës qui touchent en général des sujets jeunes et qui tuent rapidement.

IV. — Le traitement de la silicose nous retiendra peu et nous incitera à une salubre modestie : actuellement, il n'existe pas de traitement curatif de la silicose. Tout au plus peut-on améliorer, de façon d'ailleurs appréciable, certains symptômes.

⁽¹⁾ ROCHE L. et TOLOT F. Encyclopédie médico-chirurgicale T. Poumon, plèvre, médiastin, « Pneumoconioses ».

DEUXIÈME PARTIE

LA SILICOSE SUR LES CHANTIERS DE PERFORATION

Nous en arrivons, après cet exposé général, à la silicose dans les travaux publics, sur les chantiers de perforation. Sur les chantiers des Alpes, des Pyrénées, du Massif Central, comme d'ailleurs sur les chantiers suisses, la silicose offre des caractères bien spéciaux qui méritent qu'on s'y arrête. Elle est fréquente et particulièrement grave parce que précoce et rapidement évolutive; cette gravité particulière s'explique aisément : toutes les conditions sont ici réunies pour favoriser la production de la silicose : la nature des poussières inhalées d'abord; on sait que dans les trois régions que nous venons de citer les terrains traversés sont silicogènes; en effet, on a donné tout à l'heure une idée de la géologie, de la qualité des terrains traversés dans la perforation du Ponturin⁽¹⁾; galerie des Boisses, sur 1 736 m on a perforé dans des quartzites du Trias, silice presque pure; dans la galerie de la Sachette, 1 100 m de quartzites, galerie du Ponturin, 5 000 m à travers des schistes sériciteux et cristallins compacts; la proportion de silice dans ces roches varie de 30 % à 40 %; la fraîcheur des poussières ne fait aucun doute; quant à la quantité des particules, on vous a donné des chiffres pour Ponturin; on a donné aussi des chiffres d'un autre chantier, et les ingénieurs qui en ont l'habitude et connaissent bien les empoussièrtements dans les chantiers de perforation savent qu'habituellement dans la galerie, on trouve souvent plusieurs millions de particules ou en tout cas, un, deux, trois ou quatre millions par litre, à l'avancement; après le bouchon, on trouve plusieurs dizaines de millions de particules; ce sont donc des chiffres très élevés.

Ces empoussièrtements massifs sont dus aux conditions de travail : concentration des moyens de production, mécanisation de plus en plus poussée. Pour la perforation, on multiplie le nombre des marteaux, on les monte sur des jumbos pour travailler en même temps à des niveaux différents; pour le marinage, on utilise des pelles mécaniques avec tapis roulant.

La cadence de travail : trois postes de huit heures avec, assez souvent, doublages de postes, il faut tenir les délais, faire 100 km de galerie par an — en France.

La prévention technique sur un chantier temporaire (par définition et par vocation) est très difficile, le personnel n'est pas stable, on n'est pas équipé pour entretenir des installations temporaires.

Dans les Houillères la réglementation est ancienne, le personnel est stable comme les installations, les conditions de travail, l'ambiance, diffèrent totalement.

Cette lacune aggrave considérablement le risque : dans les galeries de perforation tout le personnel qui pénètre en galerie est exposé au danger de silicose, des cadres au manoeuvre, y compris les contrôleurs E. D. F., les tractoristes, les mécaniciens d'entretien; on a parlé à juste titre de cloaque, d'égout collecteur, à propos de nos galeries. C'est bien ce qui se produit quand on n'utilise aucune ventilation ou qu'on l'utilise à rebours,

dans la ventilation par refoulement. En somme, risque silicotique très élevé du fait de l'empoussièrtement très important et très nocif, risque silicotique étendu à tout un chantier par défaut de prévention technique et du fait de la disposition même du lieu de travail.

C'est ce qui explique la fréquence et la gravité des silicoses rencontrées chez les mineurs de nos chantiers :

1° *Fréquence* : il n'est pas possible de donner un pourcentage global d'ouvriers de galerie silicotiques, les enquêtes médico-professionnelles étant insuffisantes en nombre et en durée d'observation.

Le Dr NUSSEBAUM au Centre Médical de Luz Saint-Sauveur, en deux ans de dépistage systématique, sur 1 865 mineurs de rocher, a recensé 104 silicotiques :

20 ont moins de 5 ans d'exposition sur	1567
44 de 5 à 10	189
40 plus de 10	109
104	1865

Une statistique de la Caisse Primaire de Savoie de 1948 à 1951 fait état de 456 dossiers de déclarations de silicose dont 365 ont été retenus comme silicotiques. Sur ces 456 dossiers, 419 soit 90 % concernaient des mineurs sur rocher et manoeuvres en souterrain, le reste étant réparti entre diverses professions, meuleurs, ébarbeurs, sableurs, demouleurs, maçons.

Sur le chantier de Malgovert en Savoie — voisin du Ponturin — pour un effectif moyen de 800 ouvriers de galerie, en 1951, 95 silicosés ont été dépistés, 60 en 1952. Ces chiffres se passent de commentaires.

2° *Gravité* exceptionnelle : du fait de son apparition précoce, du fait qu'elle atteint des hommes jeunes en pleine activité, du fait qu'elle évolue très rapidement. Aucun de ces éléments n'est retrouvé avec une telle acuité dans les autres professions.

Dans les Houillères, JARRY et ses collaborateurs rapportent après exploitation statistique de 5 000 dossiers de silicosés suivis radiologiquement pendant au moins cinq ans que :

« 1. Il existe deux séries évolutives qui se partagent les cas à peu près à égalité : une série rapide s'accomplissant en onze à douze ans, une série lente s'étendant sur vingt-cinq à trente ans;

2. Ces deux séries paraissent tout à fait indépendantes l'une de l'autre;

3. La détermination dans l'une ou l'autre de ces voies évolutives paraît bien sous la dépendance de la qualité et de la quantité de l'empoussièrage, en particulier au début de la vie professionnelle de l'ouvrier.

A ces raisons d'empoussièrage s'ajoutent aussi vraisemblablement des conditions de terrain propres à chacun.

4. La tuberculose n'a paru jouer aucun rôle dans la détermination des cas dans l'une ou l'autre série ».

Chez nos perceurs de tunnels, si l'on veut distinguer deux séries évolutives, il faut baisser considérablement

(1) Documents E.D.F. par MM. ROUSSEL, ANXIONNAZ et collaborateurs.

le temps d'exposition et admettre une première série très rapide en moins de cinq ans, une deuxième série moins rapide de cinq à dix ans. Sur 86 silicotiques expertisés du chantier de Malgovert :

23 sujets ont moins de cinq ans de travail aux poussières,
49 de cinq à dix ans,

14 de dix à quinze ans,

Personne au-delà de quinze ans.

Dans la thèse lyonnaise d'Ardisson, dirigée par le Professeur ROCHE et qui groupe 400 expertises de silicoses, sur 29 silicoses observées chez des ouvriers de galerie, dans 14 cas le temps d'exposition est inférieur à dix ans, dont 8 avec moins de cinq ans.

En Suisse, NICOD a observé chez des ouvriers de galerie travaillant dans des conditions très défectueuses, des silicoses d'apparition ultra-rapide — un cas notamment était survenu après quatre mois d'exposition à des poussières de schistes siliceux.

Les silicoses *précoces* ne sont pas l'apanage des travaux souterrains, mais se rencontrent chaque fois que l'empoussièrement est massif et en l'absence de dispositif de protection efficace. En outre, elles évoluent rapidement, elles brûlent les étapes. On les a appelées avec juste raison *silicoses aiguës* ou *galopantes*.

Ces silicoses nombreuses, précoces, graves, touchent des hommes jeunes, en font des diminués physiques à la charge de la société. Il n'est pas possible aujourd'hui d'accepter que des hommes qui contribuent par leur travail à l'amélioration des conditions de vie de leurs semblables, au progrès, soient victimes de leur travail même. Il n'est pas question non plus de fermer les galeries et de renoncer aux centrales hydro-électriques. S'il n'est pas possible de supprimer dans les travaux souterrains — M. VERDIER l'a dit — les empoussièrement dangereux, nous savons et nous pouvons, du moins modifier considérablement ces empoussièrelements, ramener au-dessous du seuil toxique, en tout cas ralentir grandement la marche de la maladie et diminuer sa fréquence.

TROISIÈME PARTIE

LA PRÉVENTION DE LA SILICOSE AU PONTURIN

L'arme dont nous disposons est la prévention. *La Prévention technique* occupe la première place; elle a été développée amplement, avec précision; je veux simplement insister sur le fait que cette prévention technique doit être collective. Ce n'est que secondairement qu'on doit faire appel à des mesures de protection individuelle (le port du masque, par exemple).

La Prévention médicale n'est pas première, mais elle n'est pas inutile; elle est même indispensable, je crois, si on comprend bien son rôle qui est triple — un rôle de filtration et d'orientation (le médecin, à l'embauche, arrête les sujets prédisposés, ceux atteints déjà de fibrose silicotique).

— Rôle de surveillance (elle contrôle l'efficacité de la prévention technique en dépistant les sujets atteints);

— Enfin, rôle de protection (elle garantit l'avenir des sujets touchés, en les retirant du risque assez tôt).

Cette prévention médicale est d'ailleurs réglementée. Trois obligations essentielles la résument : d'abord la visite d'embauchage avec *radiographie pulmonaire* (nous avons vu l'importance de la radio pour tous les sujets exposés au risque), une visite systématique faite dans les mêmes conditions tous les six mois, enfin le respect des décisions médicales, décisions d'aptitude ou d'inaptitude au travail de galerie.

Cela paraît simple, et en fait l'application en est relativement facile en usine, même dans les charbonnages, où ainsi que l'écrit JARRY « la Prévention médicale s'adresse à une collectivité très nombreuse, mais relativement bien groupée. De plus, la grande stabilité du personnel permet une médecine de travail de qualité et efficace puisque l'ouvrier est suivi tout au long de sa vie professionnelle. En outre, l'équipement en personnel et en matériel des Centres médicaux est très satisfaisant ».

Sur les chantiers d'altitude, particulièrement sur les petits chantiers, cette prévention médicale se heurte à des difficultés nombreuses et sérieuses; c'est précisément pour essayer d'y faire face que, conjointement à une prévention technique exemplaire, a été tentée l'expérience médicale du Ponturin.

A. Quelles sont les conditions médico-sociales propres à ces chantiers?

D'abord, des conditions géographiques particulières : implantation des chantiers à 1800 m, isolés au fond des vallées; par exemple, pour atteindre le chantier amont, au moins pendant trois ou quatre mois, il fallait se servir de chenillettes. On connaît bien les hommes; on a écrit des pages, de nombreuses pages sur eux sans compter un film et un roman. « On l'a répété à satiété, l'ouvrier du bâtiment, et plus particulièrement l'ouvrier des grands chantiers, ne se confond avec aucun autre compagnon. Ses yeux sont habitués aux vastes horizons, aux grands espaces. Il vient sur un chantier, qu'il sait temporaire, il ne s'installe pas, il campe bien souvent. La plupart du temps, c'est un déraciné permanent ou temporaire qui, après une rude journée de travail, rentre se reposer dans un baraquement où il partage une chambre avec d'autres compagnons. Souvent cette vie en vase clos, dure des semaines ou des mois sans interruption aucune »⁽¹⁾.

Le Dr NUSSBAUM qui a une grande expérience des chantiers de montagne insiste sur l'extrême mobilité de la main-d'œuvre. « Mobilité due au caractère saisonnier des travaux d'extérieur, au caractère temporaire des travaux et sur la mobilité aggravée par la vie en montagne et la communauté de tous les instants. On comprend chez ces gens le besoin irrésistible qui les prend de voir parfois d'autres horizons, de changer de compagnons, de chef, de cantine ».

Donc extrême mobilité du personnel (ce qui aura une incidence certaine sur l'activité médicale à l'embauche), vie en circuit fermé, travail dur. Il faut pourtant insérer la visite médicale dans ce milieu dont on ne peut pas ne pas tenir compte, d'où certains principes directeurs qui doivent être bien posés : a) nécessité d'une médecine *permanente* (j'ai insisté à plusieurs

⁽¹⁾ Dr G. CASSAN. Contribution à l'étude des accidents du travail survenus sur un grand chantier de travaux publics. Thèse Lyon, 1955, p. 16

reprises sur ce point au cours des réunions trimestrielles à Ponturin), nécessité d'une médecine permanente à courtes périodes et non à éclipses prolongées, pour assurer un examen médical d'embauche le plus précocement possible mais aussi, pour des raisons psychologiques : la venue du médecin ranime la flamme de la prévention, b) la nécessité de voir *tout le personnel sans exception*, celui de l'extérieur comme celui de la galerie à cause de la vie en vase clos et des conditions de contagion possibles; c) enfin *respect scrupuleux des décisions médicales* quant à l'affectation aux travaux exposés au risque silicotique.

B. Enfin, il faut voir l'organisation matérielle de la médecine du travail au Ponturin.

Les examens médicaux étaient pratiqués chaque mois à Bourg-Saint-Maurice, à mi-chemin des deux chantiers, dans un local convenable aimablement prêté par E.D.F. avec un bon appareil de radioscopie. Les radiographies pulmonaires étaient pratiquées le jour même de l'examen clinique, à l'hôpital de Bourg-Saint-Maurice avec un appareil qui n'était pas parfait mais qui permettait de faire des radiographies à peu près convenables. La question de la radiographie pulmonaire mérite qu'on s'y arrête car le dépistage médical de la silicose est avant tout radiologique. La radioscopie est utile et même nécessaire pour apprécier la dynamique ventilatoire, mais elle ne permet pas de faire le diagnostic d'une silicose au début; la radiophotographie, grâce aux perfectionnements qui lui ont été apportés récemment est utilisée et rend de réels services dans les grandes collectivités, mais elle ne dispense pas de la radiographie. Seule, la radiographie standard, la téléradiographie, peut permettre d'assurer le dépistage précoce de la silicose : elle est la pièce maîtresse de la Prévention médicale.

Sur certains chantiers alpins, circulent des camions radiologiques équipés avec groupe électrogène ou branchés sur secteur. Quand on le peut, il est préférable d'avoir recours à des postes fixes.

C. Quelle a été l'activité médicale sur le chantier du Ponturin?

Malgré les difficultés, le système a bien fonctionné de 1953 à 1957; une visite médicale a eu lieu chaque mois. Voici le bilan : 543 visites d'embauche et 213 visites systématiques, 677 radiographies pulmonaires; enfin, 69 refus prononcés à la visite d'embauche.

1. L'embauchage.

Le nombre des visites d'embauche est élevé à cause de la mobilité du personnel; en effet, pour assurer un effectif moyen de 65 à 70 personnes, il a fallu effectuer 543 examens d'embauche. Certains même ont été embauchés sur le chantier à plusieurs reprises, partis en Algérie, en Italie, ou sur d'autres chantiers puis revenus. Nous avons vu comment était composé cet effectif :

a) Sujets jeunes, rarement plus de quarante ans, souvent moins de trente ans.

b) Nationalités variées : par ordre décroissant, Italiens (on est à 28 kilomètres de la frontière italienne), Français, Français Musulmans, Espagnols, Portugais.

c) L'ancienneté dans la profession est difficile à préciser (l'interrogatoire est laborieux, les postes de travail plus ou moins exposés suivant les chantiers).

Ce qui frappe encore ici dans ces chiffres, c'est le nombre élevé des refus, puisque 69 candidats ont été refusés sur 543, soit 12,7 %. Rien de comparable avec les pourcentages relevés dans les autres industries, dans la métallurgie par exemple où les chiffres oscillent de 1 à 3 %.

Force est donc d'avouer que pour une entreprise à petit effectif, ces éliminations sont gênantes; risque de désorganisation des équipes, difficultés de recrutement en main-d'œuvre spécialisée (ce sont les plus chevronnés que l'on élimine). Enfin, dernier argument, ne vaudrait-il pas mieux garder ceux qui sont contaminés au lieu d'exposer de nouvelles recrues? Ce dernier argument est non seulement mauvais sur le plan moral, mais dangereux sur le plan de la prévention, car il incite à la paresse.

Pour les candidats éliminés, c'est un ennui parfois fort grave de se voir refuser à l'embauche, c'est la perte d'un gagne-pain (pas de possibilité de reclassement sur un petit chantier). Le médecin, lui, doit prendre sa décision en tenant compte 1°) du risque silicotique élevé; 2°) qu'il s'agit d'un travail en altitude, donc examen soigneux de l'appareil cardio-vasculaire; 3°) qu'il s'agit de travaux de galerie pénibles et dangereux (importance de l'acuité visuelle à cause de la fréquence des accidents de circulation).

Sur les 69 refus, 4 ont été prononcés à la suite de l'examen clinique, trois borgnes avec acuité visuelle restante presque nulle, et une grosse hernie inguinale), 65 après lecture de leur radiographie pulmonaire.

Fait qui peut paraître étonnant, sur ces 65 refus 14 concernaient des silicotiques qui avaient été expertisés et connaissaient leur état; certains se sont même présentés sur les deux chantiers et furent gênés hélas de retrouver le même médecin! Ainsi les silicotiques expertisés continuent à travailler à des postes exposés en galerie! Il faudrait pourtant leur interdire catégoriquement l'accès de tout chantier de perforation parce que s'ils sont admis à l'extérieur de la galerie, ils passent ensuite à l'intérieur et quand on connaît la mentalité, la psychologie du mineur, très attaché à son travail, on ne s'en étonne pas. La réglementation est pourtant formelle et, qui plus est, leur maladie s'aggrave en travaillant dans les poussières. Cela suppose que parallèlement l'on a organisé leur reclassement. Mais ceci est une autre histoire...

Sur quatre cas de tuberculose dépistés sur nos chantiers, il ne s'agissait pas de tuberculeux cavitaires sauf pour l'un d'entre eux, mais les aspects radiologiques évoquaient la bacillose. Il faut sans hésiter les éloigner des chantiers.

Si pour les silicotiques déclarés — comme ceux dont je vous ai montré les images — et pour les tuberculeux le médecin ne se pose pas de cas de conscience pour prendre une décision d'inaptitude, par contre, le problème est très difficile et très différent pour une autre catégorie, ceux qui ont des *anomalies radiologiques non spécifiques*. Il est alors très délicat pour le médecin de prendre une décision, décision qui n'est d'ailleurs pas livrée à sa fantaisie, mais qui s'appuie sur des textes.

« La prévention médicale de la silicose en l'état actuel de nos connaissances, (D. 16 octobre 1950) consiste à : a) ne pas exposer au risque silicotique les travailleurs qui présentent une prédisposition organique ou fonctionnelle à cette affection; b) soustraire à ce risque le plus rapidement possible ceux qui présentent un début de maladie. L'arrêt du 16 octobre 1950 précise quelles sont ces prédispositions : « Il est généralement admis que toute insuffisance respiratoire prédispose à la maladie

en ne permettant pas l'arrêt des poussières dans les voies aériennes supérieures et bronchiques et que toute lésion pulmonaire facilite la fixation de la silice sur le parenchyme, tout facteur d'hyperventilation d'origine respiratoire ou cardio-vasculaire... » «... ne doivent donc être reconnus aptes que les travailleurs présentant l'intégrité de leur appareil respiratoire et cardio-vasculaire ».

Les textes sont très exigeants, leur application difficile. Quid? Il s'agit d'hommes jeunes dont la capacité de travail est intacte, qui ne présentent aucun trouble fonctionnel ni organique (la silicose ne touche pas la capacité de travail au début), la radioscopie est peu significative, seule la radiographie révèle des images anormales :

— Des trabéculations accentuées avec parfois une réticulomicronodulation discrète.

— Une sclérose plus ou moins marquée, plus ou moins étendue.

— Des séquelles pleurales plus ou moins importantes.

Il n'est pas question sur ces petits chantiers d'avoir recours à des examens complémentaires (tomographies, bacilloscopies, exploration fonctionnelle respiratoire), ni de faire admettre le suspect dans un Centre de diagnostic. Ici la décision d'aptitude doit être prise rapidement et il faut considérer qu'elle engage pour toute la durée du chantier sauf cas spéciaux. 47 sclérosés pleuropulmonaires compris dans cette catégorie ont fait l'objet de décisions d'inaptitude; cela suppose une bonne connaissance de la radiologie pulmonaire et une analyse approfondie des clichés thoraciques.

2. La surveillance systématique.

Nous abordons la partie qui, je crois, est la plus intéressante de cette expérience : la surveillance systématique du personnel exposé. Il s'agit de terminer cette expérience en répondant à deux questions — parmi les nouveaux mineurs exposés pour la première fois au risque silicotique dans la galerie du Ponturin, combien de sujets ont-ils été atteints par cette affection et dans quelle mesure? — deuxième question : parmi les anciens mineurs de galerie qui sont venus ici, combien y a-t-il eu d'aggravations?

Notre surveillance a été basée sur l'examen clinique et l'interrogatoire, l'étude des signes fonctionnels, des signes généraux, des signes physiques et sur la radiographie. Cette expérience a été poursuivie de janvier 1953 à avril 1957 inclus; 64 personnes ont été suivies à l'aval, 49 à l'amont. On connaît les caractéristiques de ces 113 sujets :

— L'âge : 102 sur 113 ont moins de quarante ans.

— La nationalité : Français 29, Nord-Africains 23, Italiens 46, Espagnols-Portugais 14, Allemand 1.

— Le temps d'observation : 79 ont passé un an ou moins sur le chantier;

34 ont passé deux à quatre ans et davantage.

Ce temps d'observation est celui qui est compris entre le premier et le dernier cliché, en tenant compte du temps réel passé au risque sur le chantier du Ponturin.

Dans le premier groupe (de 79) — ceux qui ont été suivis un an ou moins sur le chantier — la durée d'observation est évidemment trop courte : 21 entraient pour la première fois en galerie et n'avaient jamais été exposés

aux poussières. Une tuberculose pulmonaire évolutive grave a été dépistée à la première visite systématique pratiquée six mois après la visite d'embauche, chez un mineur qui a été hospitalisé en sanatorium. Il ne s'agit pas d'une silicotuberculose, mais d'une tuberculose pulmonaire banale. Il est heureux que ce sujet crachant des bacilles ait été éliminé très rapidement, et pour lui et pour ses compagnons de travail. Chez un autre mineur, on voit se préciser en huit mois une sclérose pathologique indiscutable, mais cet ouvrier n'a passé que huit mois au Ponturin, alors qu'il avait travaillé au rocher plus de huit ans.

Le deuxième groupe (de 34) — a été suivi plus longtemps, plus d'un an, un certain nombre ayant travaillé quatre ans en galerie au Ponturin, et quelques-uns n'ayant jamais été exposés au risque silicotique auparavant. Or, nous avons la preuve (cf. supra) qu'à Malgover, avec les mêmes terrains traversés, des silicozes sont apparues en moins de cinq ans chez des sujets qui n'avaient jamais travaillé en galerie. Deux sous-groupes peuvent être distingués : — huit nouveaux en galerie :

4 ont travaillé 4 ans au Ponturin) c'est-à-dire à toute
1 a travaillé 3 ans au Ponturin) la perforation

2 ont travaillé 2 ans $\frac{1}{2}$ au Ponturin
1 a travaillé 20 mois au Ponturin.

Les résultats? Rien à signaler cliniquement, comme on pouvait s'y attendre. L'examen des clichés montre une discrète accentuation des tractus péri-hilaires chez l'un, une sclérose, aggravation discrète chez un autre qui a passé quatre ans sur ce chantier.

— 26 ouvriers étaient d'anciens ouvriers de galerie :

4 ont travaillé plus de 4 ans au Ponturin
10 ont travaillé plus de 3 ans au Ponturin
4 ont travaillé plus de 2 ans $\frac{1}{2}$ au Ponturin
7 ont travaillé plus de 2 ans au Ponturin
1 a travaillé plus de 18 mois au Ponturin

Les résultats? Chez un certain nombre, on observe des scléroses nettes, mais il est difficile d'apprécier l'aggravation du premier au dernier cliché, sauf dans cinq cas dont trois montrent des aggravations discrètes, deux des aggravations nettes. Ces deux derniers cas sont à ranger dans la classe des présilicozes avancées, purement radiologiques. Mais, notons-le, ces deux sujets aggravés avaient été antérieurement exposés, l'un trois ans et demi au rocher, l'autre cinq ans.

Il est certes difficile de tirer des conclusions formelles à la suite d'une expérience qui porte sur un petit nombre de cas et sur une période d'observation trop courte. On ne peut pas savoir s'il ne se produira pas des silicozes tardives, mais les dégâts immédiats sont très limités. Les *silicozes précoces* ont été évitées, et cela seul serait déjà un succès.

Cette expérience doit être jugée moins sur ses résultats immédiats que sur l'esprit qui l'a guidée et qu'on souhaite voir passer chez d'autres.

Cette expérience du Ponturin est un symbole, démonstration est faite que la prévention technique est réalisable sur nos chantiers les plus difficiles; que la prévention médicale est possible même sur un petit chantier : il suffit de savoir l'adapter. La silicose est un problème en marche, encore faut-il que les recherches de laboratoire et les études scientifiques profitent à ceux qui sont exposés le plus directement au risque.

M. LE PRÉSIDENT. — Vos applaudissements viennent de manifester l'intérêt que vous avez tous porté à la belle conférence du Dr Cassan et je l'en remercie.

DISCUSSION

M. OLIVIER-MARTIN. — Je voudrais simplement profiter de l'occasion qui m'est donnée à la suite de cette si intéressante conférence, pour dire que EDF a été et sera toujours heureuse, de voir ses chantiers servir de terrain d'expérience à l'*Office professionnel du Bâtiment et des Travaux Publics* pour que cet office puisse asseoir mieux sa documentation et étudier sur le tas les meilleures mesures à prendre tant pour réduire les accidents que pour prévenir les causes de maladie professionnelle.

Je suis d'ailleurs également heureux de constater qu'en cette matière il existe un concours actif de l'*Institut National de Sécurité des Caisses régionales de Sécurité Sociale*, et que tout ceci, joint à la bonne volonté des entreprises, me paraît permettre d'obtenir des résultats très encourageants.

M. LE PRÉSIDENT. — Nous vous remercions, M. le Directeur, d'avoir associé tous les participants à cette expérience.

M^{lle} O. CHATELAIN. — Est-ce que le problème de l'archivage des dossiers médicaux est étudié et résolu? Les chantiers n'ont qu'une courte durée; les services médicaux sont fermés et il reste des dossiers qui ont une très grosse importance, puisque la silicose peut être tardive.

M. CASSAN. — Il est difficile de répondre à cette question; elle a déjà été soulevée à l'une des dernières réunions trimestrielles; elle est posée à chaque fermeture de chantiers; elle n'a pas été résolue; le Docteur Nussbaum l'avait posée quand il s'est agi de fermer le chantier de Luz-Saint-Sauveur.

M. NUSSBAUM. — La conservation et la redistribution des radiographies, faites sur nos chantiers, posent des problèmes techniques et déontologiques multiples.

Dans l'état actuel des choses, malheureusement, la majeure partie de ces radiographies est perdue quelques mois après la fin d'un chantier.

UN AUDITEUR. — En Suisse, il y a un service central de silicose. Je suis allé en Suisse au moment de la mise en route; j'étais envoyé par EDF à la demande des chantiers de la direction de l'hygiène; il y a des choses qui sont possibles dans un petit pays avec un nombre restreint de mineurs, et se serait certainement difficile de la réaliser chez nous.

D'autre part, ce système est lent et lourd; le contact médical n'existe pas avec le sujet... Les radios sont envoyées à Zurich et jugées par les experts de Zurich; c'est une chose à revoir encore et à étudier plus longuement.

M. LE PR. RAYMOND. — Il existe en Suisse, à Lucerne, au Centre des Assurances, un service où sont centralisés les dossiers de tous les ouvriers ayant été silicosés ou ayant travaillé dans des travaux silicogènes. Quand un ouvrier se présente à l'embauche dans une entreprise celle-ci téléphone à Lucerne, l'ouvrier est identifié, son dossier repéré et Lucerne envoie aussitôt tous renseignements utiles.

Mais ce qui est possible en Suisse, ne l'a pas été jusqu'à maintenant en France, en raison de l'étendue du pays, de la diffusion des chantiers et du nombre considérable d'ouvriers qui y passent. On vient de dire qu'il a fallu examiner à l'embauche 500 ouvriers pour maintenir un effectif moyen de 50 travailleurs.

Il y a une seconde solution envisageable, celle du livret de santé des ouvriers, mais elle n'a pas été, non plus, jusqu'à maintenant possible en France.

Je profite de l'occasion pour dire que l'expérience du Ponturin a eu un retentissement considérable non seulement en France, mais à l'étranger et que nous devons féliciter sincèrement ceux qui l'ont conçue, ceux qui l'ont rendue possible et tous ceux qui y ont pris part.

(Reproduction interdite.)

Les thèses et la méthode d'exposition adoptées par les conférenciers et les personnes qui prennent part aux discussions peuvent parfois heurter certains points de vue habituellement admis. Mais il doit être compris que ces thèses et discussions, à l'égard desquelles l'Institut Technique ne saurait prendre parti, ne visent en rien les personnes ni le principe des Institutions.

SUPPLÉMENT AUX

ANNALES DE L'INSTITUT TECHNIQUE DU BATIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS

JANVIER 1958

Onzième Année, N° 121

Série : ÉQUIPEMENT TECHNIQUE (60)

LA FISSURATION DES CONDUITS DE FUMÉE

**CONTRAINTES THERMIQUES
DANS LES CONDUITS DE FUMÉE**

par **M. J. TIREL**
Ingénieur au Co. S. T. I. C.

**OBSERVATIONS EXPÉRIMENTALES
SUR LES FISSURES DE CONDUITS DE FUMÉE**

par **MM. A. CLAUDON et J. TIREL**,
Ingénieur au Co. S. T. I. C.

INSTITUT TECHNIQUE DU BATIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS

CONTRAINTES THERMIQUES DANS LES CONDUITS DE FUMÉE

par **J. TIREL**

Ingenieur au Comité Scientifique et Technique de l'Industrie du Chauffage et de la Ventilation

La fissuration des conduits de fumée est un phénomène communément répandu. Ce n'est pas un problème nouveau, mais l'attention des maîtres d'œuvre et des utilisateurs s'est plus particulièrement portée sur lui depuis quelques années, et il est devenu par là même un des problèmes pathologiques les plus aigus dans les bâtiments. Il n'est pas l'apanage exclusif des matériaux nouveaux récemment apparus à côté des matériaux traditionnels sur le marché des conduits de fumée. Il est plus exact de dire que la prise de conscience du problème a coïncidé avec l'apparition de ces matériaux. On peut affirmer que la quasi-totalité des conduits de fumée existants est susceptible de se fissurer dans des conditions d'emploi ne présentant aucun caractère d'exception.

La dégradation mécanique des conduits de fumée peut provenir de plusieurs causes pouvant agir de façon simultanée :

- condensation;
- agressivité chimique de certains gaz de combustion, combinés aux eaux de condensation;
- retrait du matériau, phénomène intervenant évidemment en l'absence de tout chauffage, mais que les variations de températures auxquelles est soumis le conduit de fumée, et les migrations d'humidité qui les accompagnent peuvent exacerber d'une façon considérable;

— changement de l'état physique ou chimique du matériau dû à l'élévation de la température;

— flambage d'un conduit de fumée fixé, par exemple, à ses deux extrémités, sous l'effet de la température;

— contraintes thermiques résultant des hétérogénéités des températures dans la masse du conduit de fumée, accentuée éventuellement par l'hétérogénéité des composants de certains matériaux tels que les bétons.

Enfin, il faut ajouter, pour être complet, que les matériaux de conduits de fumée ne sont pas seuls en cause. Les joints sont des points particulièrement faibles au regard de tous les phénomènes envisagés ci-dessus.

Nous n'envisagerons pas ici tous les modes de dégradation des conduits de fumée, mais uniquement les fissurations qui se produisent à la suite d'une élévation de température des fumées à l'intérieur du conduit. Ce phénomène peut se produire pour un conduit libre de se dilater et de faible hauteur, c'est-à-dire en l'absence de tout danger de flambement. Il est bien certain que les phénomènes de retrait et de contraintes thermiques, sont toujours assez étroitement associés dans ce problème. Il est difficile de discerner a priori l'importance relative des deux phénomènes. Pour notre part, nous avons supposé que les contraintes thermiques pouvaient jouer un rôle prépondérant, et nous nous sommes attachés

RÉSUMÉ

La fissuration des conduits de fumée est un phénomène grave pouvant provenir de causes diverses, en particulier de contraintes thermiques dues au passage d'un fluide chaud dans le conduit, au retrait, au gel, à la détérioration des matériaux, au mouvement des bâtiments.

La première partie de cette étude est consacrée à l'analyse des contraintes thermiques car il s'avère que les fissures d'origine thermique sont nettement les plus importantes et que l'effet de la dilatation l'emporte de beaucoup sur les effets du retrait.

Un résultat important a été établi : le régime permanent à allure maximum est plus sévère que la mise en régime ou le choc thermique. Des conclusions importantes peuvent être tirées sur l'influence des diverses caractéristiques des matériaux de conduits de fumée déterminant les contraintes maximales.

La deuxième partie est un catalogue des différentes formes et caractéristiques des fissures obtenues au cours d'essais réalisés par les laboratoires français et étrangers préoccupés par ce problème.

SUMMARY

The cracking of flues is an important phenomenon; it results from various causes, and in particular from thermal stresses caused by the passage of a hot fluid in the conduit, from the shrinkage, from the frost, from the deterioration of the materials and from the movement of the buildings. The first part of this study is concerned with the analysis of thermal stresses, because it is established that cracks resulting from thermal stresses are unquestionably the most severe and that the effect of expansion is considerably more serious than the effects of shrinkage.

An important result has been established: the continuous heat flow at maximum rate is more severe than starting from cold or than the thermal impact. Important conclusions may be drawn regarding the influence of the various characteristics for flues in the determination of their maximum stresses.

The second part is a catalogue of the different forms and characteristics of cracks obtained in the course of tests carried out by French and foreign laboratories working on this problem.

à les analyser. Nous avons trouvé qu'à elles seules elles suffisaient à provoquer la fissuration de la quasi-totalité des conduits existants dans les conditions d'essai auxquelles nous nous sommes référés. Cette hypothèse semble d'autre part permettre d'expliquer un certain nombre de phénomènes d'une manière convenable, et aboutit à des conditions pratiques qui semblent en assez bonne concordance avec celles obtenues empiriquement par un certain nombre de spécialistes des conduits de fumée. Il semble bien à l'heure actuelle que le phénomène des contraintes thermiques, s'il n'intervient pas

seul dans la fissuration des conduits, doit néanmoins jouer un rôle prépondérant.

Nous ferons d'abord l'étude générale des contraintes thermiques, puis nous indiquerons les formules auxquelles on aboutit et les conclusions qualitatives qu'on peut en déduire, enfin nous traiterons les applications numériques et les développements auxquels elles conduisent. Un dernier paragraphe sera consacré au flambement des conduits de fumée.

I. — PRINCIPES DE L'ÉTUDE GÉNÉRALE DES CONTRAINTES THERMIQUES

L'objet de cette étude était de déterminer à partir des données expérimentales obtenues sur les températures de fumées :

- la distribution des températures à travers la section des conduits de fumée ;
- la distribution des contraintes résultant de la non uniformité des températures à travers cette section.

Pour traiter un tel problème par une voie théorique, nous avons été évidemment contraints de faire un certain nombre d'hypothèses simplificatrices :

1° Nous avons négligé le retrait et les migrations d'humidité dans les matériaux de conduits de fumée ;

2° Nous avons traité ce problème, comme un problème à une dimension, c'est-à-dire que la température est supposée indépendante de la cote suivant l'axe du conduit de fumée. Nous nous sommes attachés en particulier à l'étude d'un cylindre circulaire creux où la température T peut être considérée comme ne dépendant que du rayon r du point où on étudie la contrainte.

Le fait de négliger les variations de température en hauteur ne présente pas beaucoup d'inconvénients, car le gradient de température correspondant est généralement assez faible au regard du gradient de température transversal.

L'hypothèse de la structure cylindrique circulaire creuse, elle, est évidemment assez restrictive, mais les résultats importants peuvent sans peine être étendus à des structures plus complexes.

Dans l'étude de la distribution des températures, l'examen des différentes solutions possibles (analytiques, graphiques et numériques), a conduit à l'adoption de la méthode numérique dite calcul aux petites différences. La paroi plane ou cylindrique est divisée en tranches d'épaisseur Δx , le temps en intervalles Δt . Du profil des températures à l'instant t on déduit celui des températures à l'instant $t + \Delta t$, la température dans la tranche n à l'instant $t + \Delta t$ étant une moyenne pondérée des températures dans les tranches $n - 1$, n , et $n + 1$ à l'instant t (voir fig. 1).

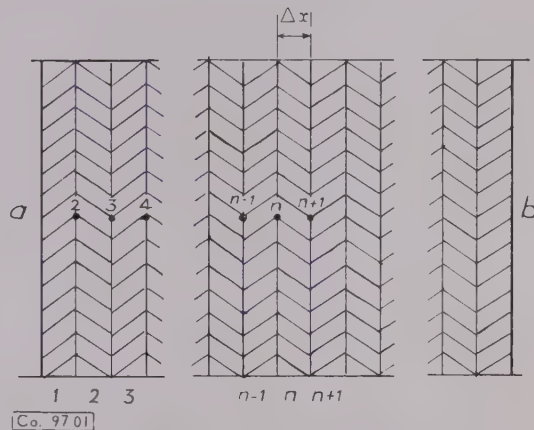


Fig. 1. — Calcul des températures dans une paroi par la méthode des petites différences.

Ces calculs sont développés avec un peu plus de détails en annexe et dans une publication plus complète de l'auteur [3].

Pour le deuxième problème, celui de la distribution des contraintes, nous avons utilisé des méthodes basées sur les hypothèses de l'élasticité. Quelques études préliminaires destinées à analyser les contraintes thermiques en élasto-plasticité, semblent avoir montré, pour autant que ces calculs soient valables, que les contraintes les plus dangereuses n'étaient pas sensiblement modifiées par la présence d'une zone plastique du côté interne du conduit de fumée [3].

En ce qui concerne le critère adopté pour caractériser la fissuration d'un conduit de fumée, il semble évident que les matériaux de construction ayant une résistance très faible à la traction, ce sont les contraintes maximales en traction qui provoqueront cette fissuration. Les fissures seraient alors normales aux contraintes maximales, et on pourrait négliger l'influence des deux autres contraintes principales.

II. — FORMULES GÉNÉRALES DES CONTRAINTES THERMIQUES : CONCLUSIONS SUR LA LOCALISATION ET LA DIRECTION DES FISSURES

Les valeurs des contraintes ont été calculées dans deux cas particuliers :

Premier cas : la dilatation axiale est nulle, la dilatation transversale est libre (conduit buté).

Deuxième cas : la dilatation axiale est libre, ainsi que la dilatation transversale (conduit libre).

Pour un profil de température décroissant de l'intérieur vers l'extérieur, analogue à celui indiqué par la figure 2 —

l'allure des contraintes est indiquée dans les deux cas étudiés. On peut tirer de l'examen de cette figure un certain nombre de conclusions qualitatives.

Les contraintes maximales se rencontrent sur la surface interne pour les contraintes en compression, sur la surface externe pour les contraintes en traction. Pratiquement la contrainte maximale en compression est verticale, car la dilatation axiale n'est jamais rigoureusement libre, ne serait-ce

que du fait du poids propre du conduit. La contrainte maximale en traction a la même expression quelles que soient les conditions aux limites aux extrémités du conduit et est horizontale.

On peut déjà déduire des calculs de contraintes, quelques conclusions qualitatives en ce qui concerne la direction des fissures. D'une manière générale, on devait obtenir du fait de la contrainte maximale en traction sur la surface externe, une fissure verticale. Toutefois, lorsque la surface externe présente une ligne anguleuse, une arête, ce qui est le cas

pour tous les conduits carrés ou rectangulaires, on ne peut plus sur cette ligne distinguer une contrainte radiale et une contrainte tangentielle, et toutes les contraintes horizontales sont nulles. Il subsiste seulement dans ce cas une contrainte verticale en traction, qui est donc la contrainte maximale. Des fissurations horizontales sont donc susceptibles de s'amorcer au voisinage de ces arêtes. La figure 3 montre un conduit avec une fissure verticale et la deuxième partie de l'étude contient également un grand nombre de vérifications expérimentales de nos conclusions.

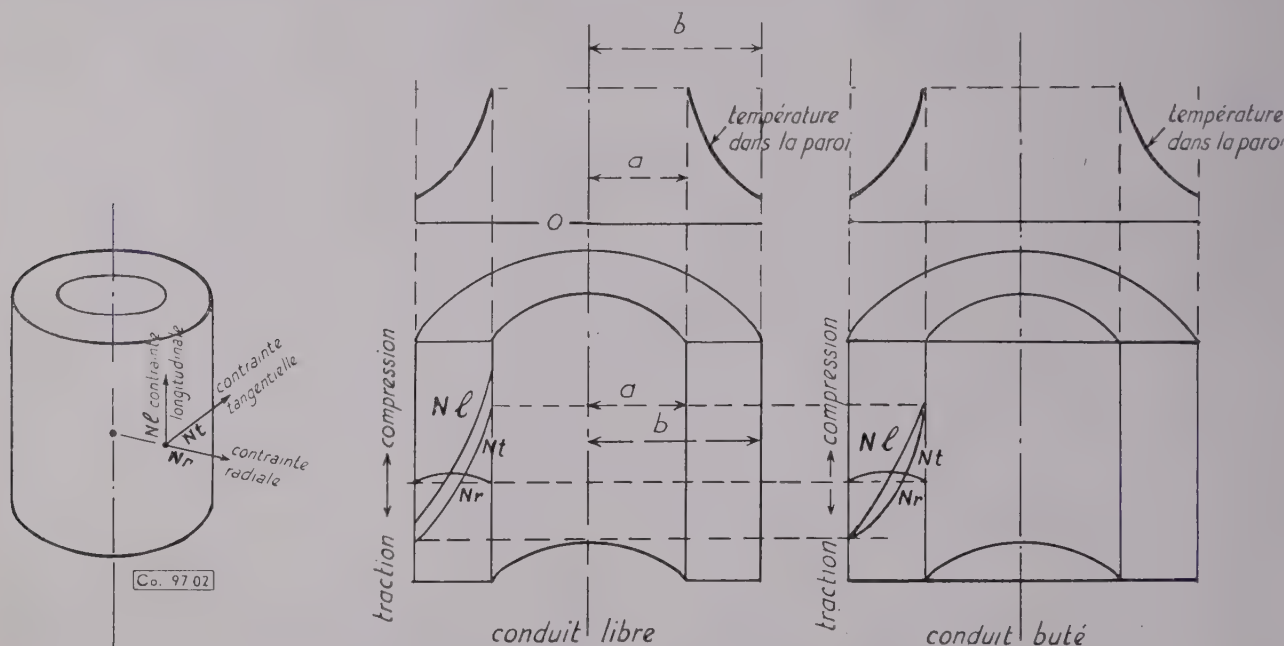


Fig. 2. — Schéma des contraintes dans un conduit cylindrique.

III. — APPLICATIONS NUMÉRIQUES — ÉTUDE DU RÉGIME PERMANENT

1. Applications numériques.

Deux calculs numériques ont été effectués en utilisant la courbe de montée en température expérimentale de la figure 6. Le premier calcul portait sur un conduit cylindrique de 3 cm d'épaisseur, rayon intérieur : 10 cm - rayon extérieur : 13 cm. Le matériau du conduit était supposé être une terre réfractaire dont la conductivité thermique variait de 0,14 à 0,28 kcal/mh° C quand la température montait de 0 à 800° C. Le deuxième portait sur un mur plan de 5 cm d'épaisseur, libre de se dilater dans la direction horizontale, c'est-à-dire représentant une nappe cylindrique dont le rayon est très grand par rapport à l'épaisseur.

Pour les coefficients superficiels de transmission de chaleur du côté des gaz et du côté de l'air, nous avons choisi les données suivantes :

— le coefficient superficiel du côté extérieur a été choisi uniformément égal à 10 kcal/m²h° C.

— pour le coefficient superficiel du côté interne, nous avons pris des valeurs fonction du débit des gaz, lui-même fonction de la température, en se basant sur des données de Mac Adams.

En ce qui concerne le coefficient superficiel de transmission de chaleur du côté des gaz, nous avons ainsi été conduits à prendre des valeurs assez grandes (de 10 à 16 kcal/m²h° C) mais qui semblent néanmoins correspondre aux régimes de température très élevée qui sont étudiés. Nous verrons ensuite, que ceci ne modifie en rien notre conclusion essentielle.

Nous avons représenté sur les figures 7 et 8, les courbes de montées en température, aux différents points de la masse du conduit pour les deux cas calculés, pour une montée en température des gaz telle que celle de la figure 6, et pour une température extérieure constante de 9° C. Nous avons d'autre part représenté sur les figures 9 et 10, l'évolution en fonction du temps des contraintes principales aux différents points de la section du conduit.

On se rend compte sur les figures 9 et 10 de l'évolution générale de l'état de contrainte dans la section des deux conduits considérés. La contrainte maximale en compression à la surface interne du mur, passe par un maximum qui est assez rapidement atteint une fois que la température maximale des gaz est obtenue. Au fur et à mesure que l'on avance depuis la surface interne vers la surface externe du conduit, on obtient une atténuation sensible du maximum précédemment men-



Fig. 3. — Conduit fissuré, avec fissure verticale en milieu de paroi.

tionné puis la contrainte maximale en compression devient ensuite constamment croissante en fonction du temps et tend vers sa valeur de régime d'une façon progressive. Quant aux contraintes de la zone externe du conduit elles croissent d'une façon continue vers leurs valeurs de régime, et c'est notamment le cas de la contrainte maximale en traction à la surface externe du conduit.

Ainsi donc, dans les cas étudiés, le régime le plus sévère au regard de la fissuration était le régime permanent. Si on avait pris pour les coefficients de transmission à la surface interne des valeurs plus faibles, le régime permanent eut été plus long à atteindre, mais la conclusion n'eut pas été modifiée. Il semble bien d'ailleurs que cette conclusion doive avoir une valeur générale. En effet, si nous examinons le phénomène du réchauffement du conduit par la source de chaleur que constituent les gaz, il est assez évident que le point situé à la surface externe du conduit doit se réchauffer beaucoup moins vite en moyenne que les autres points du conduit. En d'autres termes, la température de surface externe du conduit s'accroît moins vite que la température moyenne dans la section du conduit. Ceci en raison de la présence d'air froid à température constante, au contact de cette surface, qui entraîne des échanges d'autant plus intenses que la température de la surface externe du conduit a tendance à s'élever. Le problème serait évidemment à réexaminer pour un conduit entouré d'une isolation non adhérente au matériau constituée par exemple, par de la laine de verre.

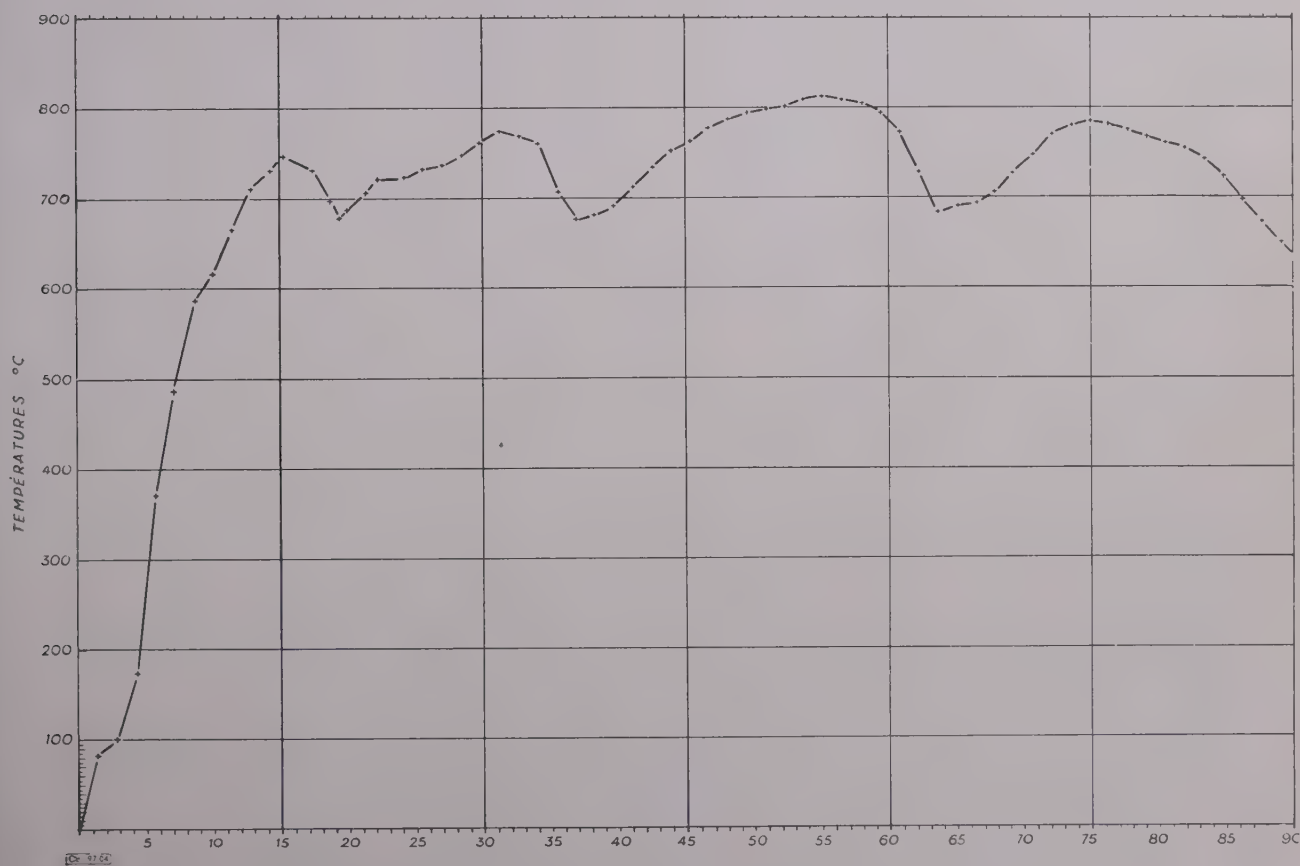


Fig. 4. — Courbe de montée en température choisie pour les calculs numériques de contraintes.

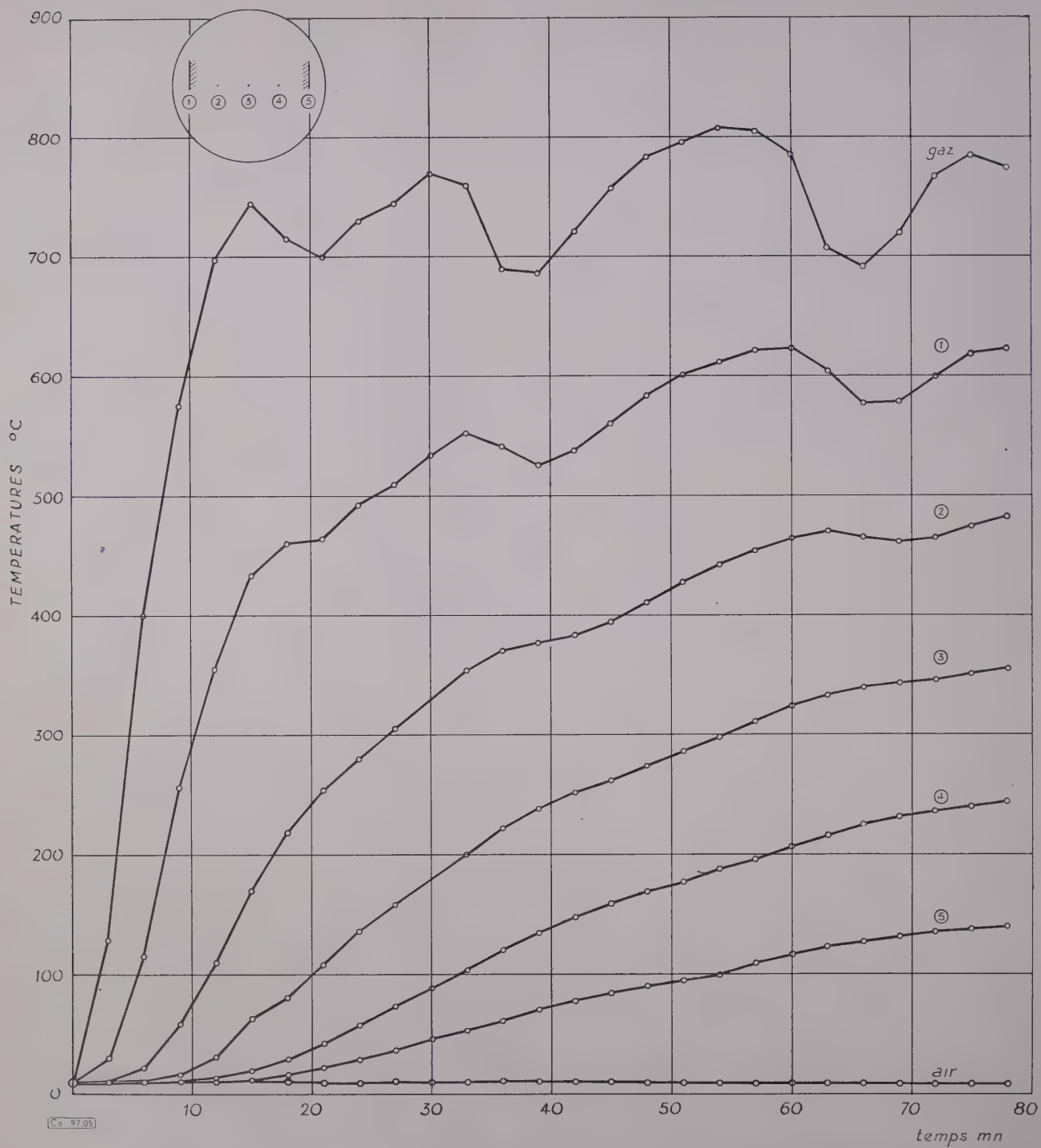


Fig. 5. — Courbes de montée en température en différents points d'un mur plan de 5 cm d'épaisseur.

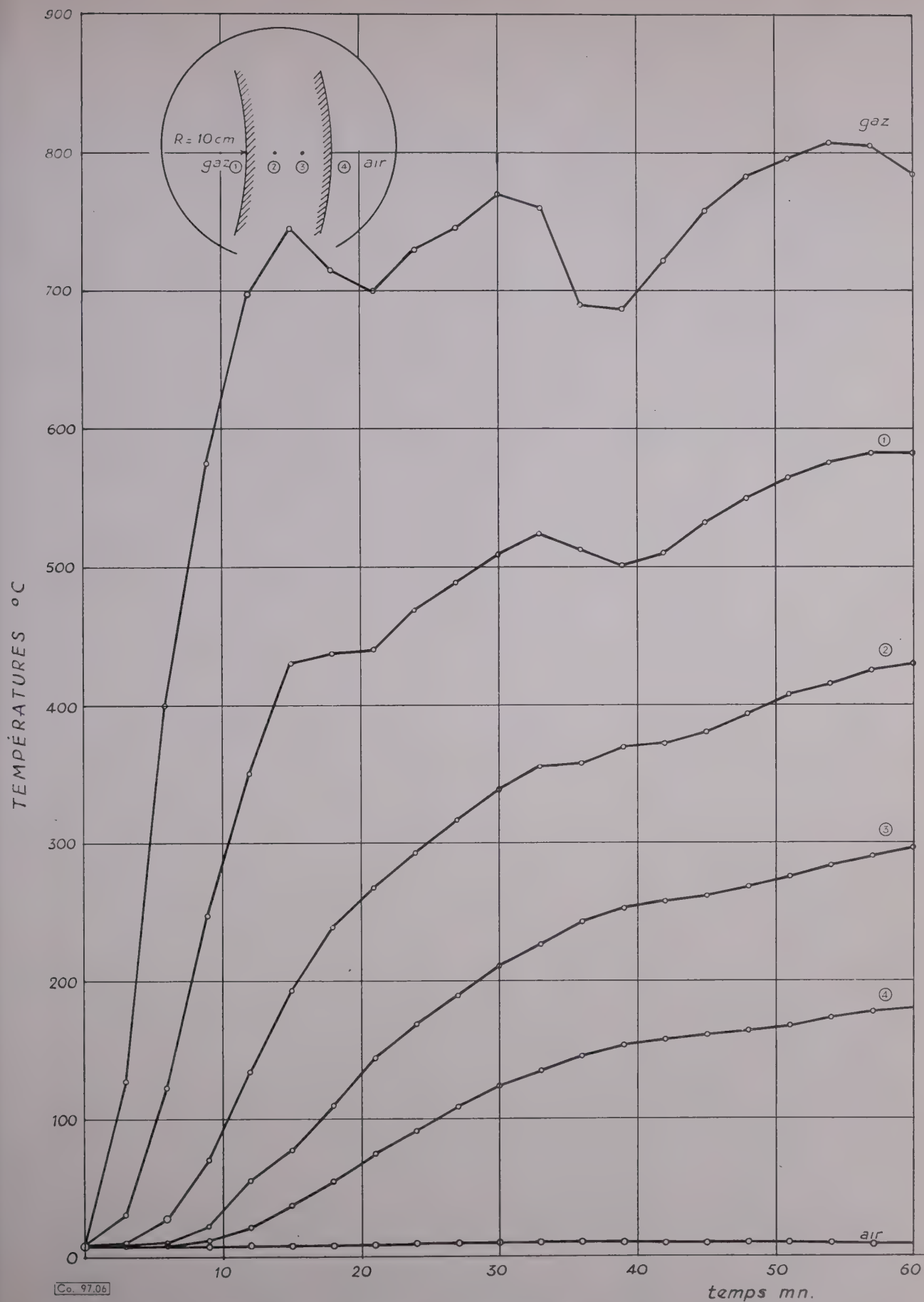


Fig. 6. — Courbes de montée en température en différents points d'un mur cylindrique de 3 cm d'épaisseur.

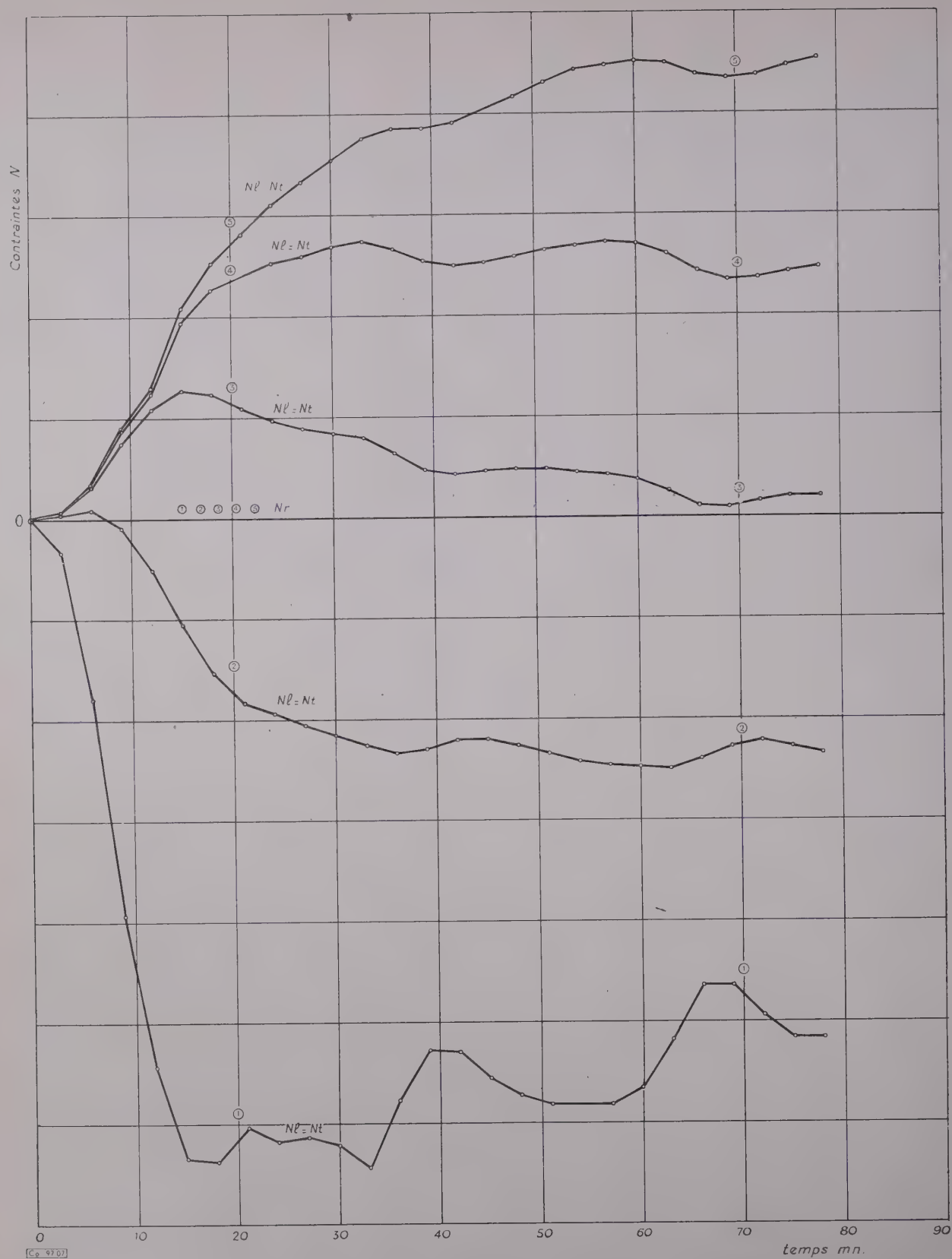


Fig. 7. — Évolution des contraintes principales dans un mur plan de 5 cm d'épaisseur.

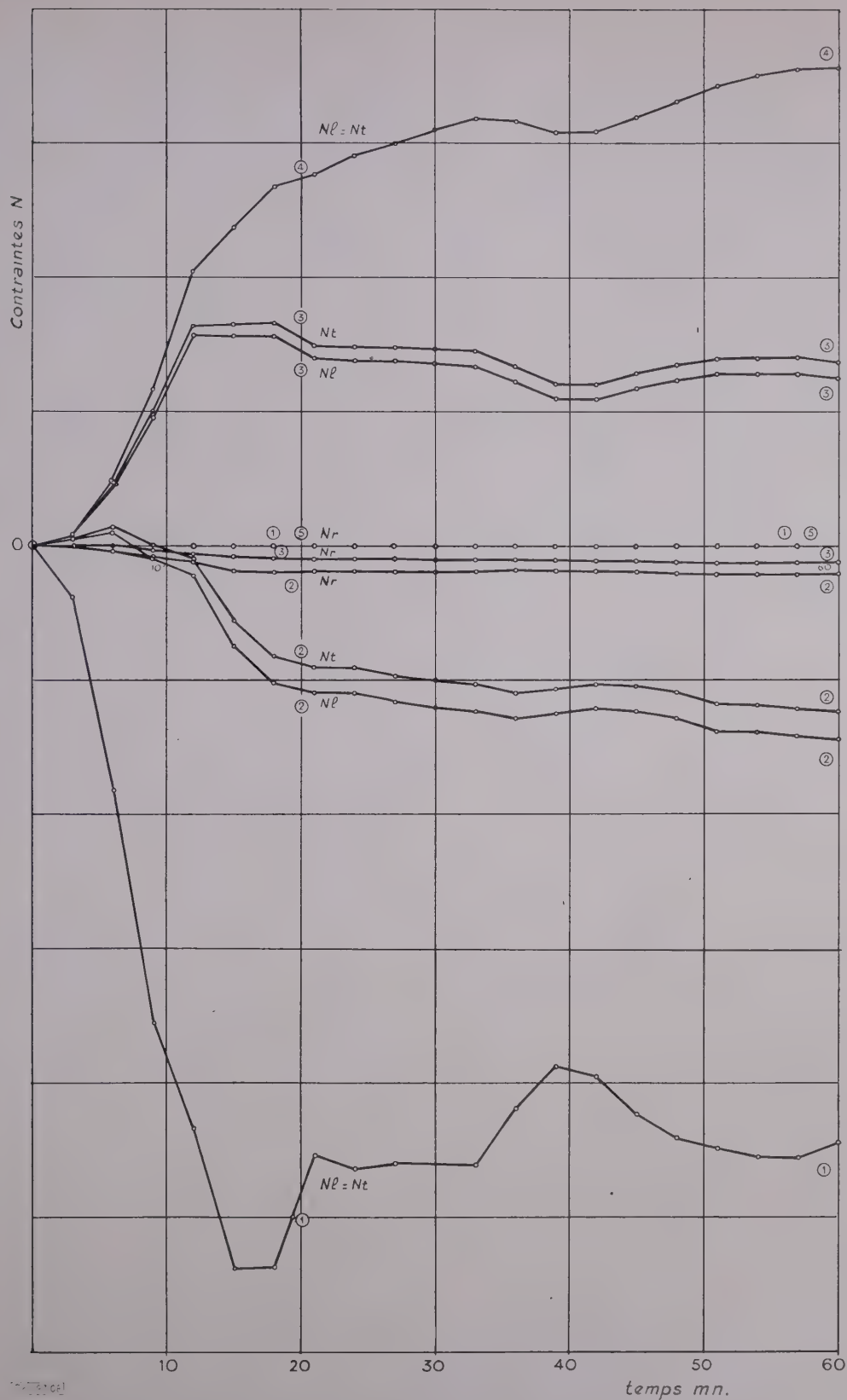


Fig. 8. — Évolution des contraintes principales dans un mur cylindrique de 3 cm d'épaisseur

Pour un conduit constitué par un mur simple, il apparaît donc que l'on doit considérer le régime permanent comme le plus sévère pour la fissuration du matériau. C'est pourquoi nous allons étudier de plus près ce régime permanent.

2. Étude de la sévérité des contraintes en régime permanent.

Nous avons calculé les contraintes maximales en traction pour un mur plan et pour un mur cylindrique, et les facteurs de correction permettant de passer de la contrainte maximale dans le mur plan à la contrainte maximale dans le mur cylindrique, de même épaisseur, constitué par le même matériau et exposé aux mêmes ambiances.

Il ressort de ces calculs que la contrainte maximale en traction décroît avec la courbure du mur, c'est-à-dire que si l'on considère la nappe cylindrique de forme plus ou moins complexe du conduit de fumée, si cette nappe a une épaisseur homogène, le maximum maximum des contraintes en traction devait avoir lieu au point de courbure maximum. C'est-à-dire qu'en pratique pour des conduits carrés ou rectangulaires, les fissures devraient se produire de préférence au milieu des murs plans constituant le conduit. Toutefois, lorsque le conduit est circulaire à l'intérieur et carré à l'extérieur, l'épaisseur du conduit est évidemment plus importante dans les angles et ceci peut produire une zone préférentielle de fissuration, dans les angles.

On se bornera dans la suite à examiner le problème des contraintes maximales dans les parois planes puisque ce cas apparaît comme le plus sévère. En écrivant que la contrainte maximale en traction est inférieure à la limite de rupture en traction simple, on obtient une condition qui exprime que pour résister à la fissuration, sous l'effet d'une montée en température atteignant un certain niveau, en régime permanent, l'épaisseur du conduit doit être inférieure à un certain maximum.

Mais à d'autres points de vue l'épaisseur du conduit doit être suffisante pour assurer une bonne isolation, celle-ci étant destinée d'abord à éviter les condensations dues à un refroidissement trop important des gaz dans le conduit, à limiter d'autre part les températures de surface extérieure sur le conduit (pour éviter qu'on ne se brûle les doigts), à limiter enfin le flux de chaleur traversant le conduit lorsque ce dernier est intérieur et situé dans des locaux habités. On exprimera d'une façon simplifiée ces différentes conditions en supposant que le flux de chaleur admissible par mètre carré de conduit ne doit pas dépasser une certaine limite. Pour satisfaire à cette condition, l'épaisseur de la paroi doit être supérieure à un certain minimum.

Ainsi l'épaisseur du conduit doit être comprise entre deux limites, une limite supérieure imposée par la résistance du choc thermique, une limite inférieure imposée par

l'isolation. La valeur de ces deux limites dépend de la température des fumées, des résistances thermiques au passage de la chaleur, des caractéristiques mécaniques du matériau du flux de chaleur admissible à travers la paroi du conduit.

Il s'ensuit que pour qu'un matériau puisse être utilisé dans un conduit de fumée en simple paroi, et résister à la fissuration tout en donnant une isolation satisfaisante, la limite inférieure doit avoir une valeur moindre que la limite supérieure.

En choisissant un coefficient de transmission de chaleur global à travers la paroi plane du conduit de fumée de $1 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$, un coefficient superficiel interne de transmission de chaleur de $4 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$, un coefficient superficiel externe de $10 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$, une température des fumées de 800°C , on obtient la condition que la résistance à la traction doit être supérieure à deux cents fois le produit du coefficient de dilatation linéaire du matériau par le module d'Young.

Avec les valeurs usuelles des différents matériaux actuellement utilisés dans les conduits de fumée, on peut dire que cette condition n'est pratiquement jamais satisfaite. On est donc conduit si on désire réaliser des conduits de fumée avec les matériaux tels que terre cuite, béton, etc... à rechercher une modification de structure qui puisse permettre de satisfaire à la fois la condition de résistance au choc thermique et la condition d'une isolation satisfaisante. On peut s'orienter dans deux voies différentes :

1° On peut chercher à compenser la contrainte en traction à la surface externe du conduit par une précontrainte du béton réalisée à l'aide d'armatures ou de corsets métalliques. Cette solution se heurte à certaines difficultés de réalisation (fluage des barres d'acier notamment), et à des conditions économiques peu satisfaisantes. Néanmoins, elle mériterait d'être étudiée.

2° On peut chercher à réaliser un conduit à double paroi, les deux voiles pouvant se dilater indépendamment l'un de l'autre. De la sorte on peut réaliser des murs d'épaisseur inférieure donc résistant mieux aux chocs thermiques pour un même gradient de température entre surface interne et surface externe, et d'autre part on peut fractionner en deux parties le gradient de température total. La présence d'une isolation en matériaux fibreux ou granulaires entre les deux murs permet d'assurer telle isolation que l'on désire. Certaines structures proposées en Suisse et au Danemark correspondent sensiblement à cette orientation. La technique des conduits à chemise indépendante témoigne également du même souci, encore qu'elle corresponde à une pratique empirique. Les chemises sont des conduits en tôle ou en poterie situés à l'intérieur du conduit de fumée proprement dit et pouvant se dilater librement à son intérieur. On peut noter également qu'en Suède, l'Inspection du Bâtiment peut exiger que les cheminées de chaudières desservant trois appartements au moins, comportent une chemise intérieure sans liaison avec les parois, pouvant se dilater librement, avec interposition d'une paillasse en laine minérale entre la chemise et le corps de la cheminée.

IV. — FLAMBAGE THERMIQUE DES CONDUITS DE FUMÉE

Un conduit buté à ses extrémités ou de place en place, peut donner lieu au phénomène de flambage. Dans la pratique, le phénomène peut être compliqué par l'adossement du conduit ou par la présence de coudes.

Le calcul concernant une portion de conduit droit comprise entre deux articulations, présente néanmoins un intérêt non négligeable. Ce calcul, compte tenu des valeurs des coefficients de dilatation des matériaux de construction, montre que le poids du conduit peut être négligé.

Pour un conduit carré de 20 cm de côté intérieur et 5 cm d'épaisseur, réalisé avec un béton réfractaire de coefficient de dilatation $10^{-5} (^\circ\text{C})^{-1}$, la longueur L entre appuis, en appliquant la formule d'Euler, doit être inférieure à 2,5 m, pour une température moyenne dans le conduit de 400°C . Pour un conduit rectangulaire de même épaisseur, de dimensions intérieures $16 \times 25 \text{ cm}$ (même aire que le conduit carré), la longueur L doit être inférieure à 1,75 m. Enfin pour le conduit circulaire de même épaisseur et de même section intérieure, la longueur L doit être inférieure à 2,20 m.

Ces exemples numériques montrent l'importance du problème et l'influence non négligeable de la forme de la section, le conduit carré étant, de ce point de vue, le plus avantageux.

On peut déduire de ces notions que, si un conduit n'est pas autoportant et libre de se dilater, ses points de fixation

doivent être nombreux et sérieusement étudiés. Les coudes en particulier doivent être particulièrement bien fixés.

Ces considérations ne constituent qu'une amorce à l'étude plus générale de la stabilité des conduits de fumée. Elles n'ont été relatées ici que pour attirer l'attention sur un point particulier de ce problème qui est souvent négligé.

CONCLUSIONS

1. Localisation spatiale des fissures de conduits de fumée.

Les fissures dues aux contraintes thermiques sont provoquées par les contraintes maximales en traction qui ont lieu à la surface externe du conduit. La théorie et l'expérience montrent que les fissures sont généralement verticales et se produisent préférentiellement par le milieu des parois planes constituant les conduits carrés ou rectangulaires.

2. Localisation dans le temps des fissures de conduits de fumée.

L'étude de l'évolution des contraintes au cours d'une montée rapide en température maintenue ensuite à son niveau maximum, effectuée sur deux cas numériques montre que le régime le plus sévère est le régime permanent, et cette conclusion paraît devoir s'étendre à tous les conduits en simple paroi. L'expérience montre également que la fissuration peut intervenir plusieurs heures après la montée en température.

3. Résistance des conduits de fumée à la fissuration.

L'épaisseur d'un conduit doit être assez faible pour résister au choc thermique et assez élevée pour assurer une bonne isolation. La compatibilité de ces deux conditions impose au matériau de conduit de fumée construit en simple paroi des propriétés que n'ont pas les matériaux de construction actuels.

Si on admet une température maximale de fumée de 800°C , un coefficient global de transmission de chaleur à travers les parois planes du conduit de $1\text{ kcal/m}^2\text{h}^{\circ}\text{C}$, le rapport de la résistance à la traction au produit du coefficient de dilatation linéaire par le module d'Young doit être supérieur à 200, ce qui n'est pratiquement jamais réalisé.

Il est donc nécessaire, si l'on veut continuer à utiliser ces matériaux de rechercher une modification de structure qui permette de diminuer les contraintes et de satisfaire simultanément les conditions de résistance à la température et d'isolation qu'il est souhaitable d'obtenir.

On peut chercher à atteindre ce résultat :

a) En annulant les contraintes en traction à la surface externe du conduit par une précontrainte du béton réalisé à l'aide d'armatures ou d'une enveloppe métallique.

b) En construisant un conduit constitué de deux parois à dilatation indépendante : chaque paroi peut ainsi avoir une épaisseur plus faible sans pour autant conduire à une isolation insuffisante et la chute de température entre fumées et ambiance est divisée en deux parties.

4. Résistance au flambage des conduits de fumée.

Ce problème ne doit pas être négligé. On obtient pour un conduit buté dont la température moyenne est de 400°C , des hauteurs critiques de l'ordre de 2 m. Le conduit carré présente de ce point de vue un certain avantage.

RECHERCHES FUTURES

a) Valeurs physiques des matériaux

Une bonne méthode pour établir une discrimination entre les matériaux pour conduits de fumée, consiste à étudier systématiquement les valeurs des termes physiques intervenant dans le problème de la transmission de chaleur et celui des contraintes thermiques :

- conductivité thermique;
- module de Poisson;
- chaleur spécifique volumique;
- résistance à la traction;
- module d'Young;

et leurs variations avec la température.

L'aptitude du matériau à être utilisé dans la construction des conduits de fumée serait d'abord évaluée par la valeur d'un module, égal au produit de la résistance à la traction par le complément à 1 du module de Poisson, divisé par le coefficient de dilatation linéaire et par le module d'Young, valeur qui devrait aussi être aussi élevée que possible.

Ensuite la conductivité thermique devrait être aussi faible que possible pour limiter l'épaisseur du conduit et la chaleur

spécifique volumique aussi élevée que possible, pour éviter qu'une pointe de température très élevée mais de courte durée n'ait une influence sur la tenue du conduit.

b) Calculs

Les calculs commencés pourront être poursuivis, en vue notamment d'analyser l'évolution des températures et des contraintes dans un conduit constitué par une paroi entourée d'une isolation non adhérente, et par une double paroi avec vide d'air ou une isolation non adhérente entre les deux parois. On pourra également étudier en fonction de l'épaisseur, de la conductivité thermique et de la chaleur spécifique volumique, la rapidité de la mise en régime et l'influence d'une pointe à très haute température mais de courte durée (feu de cheminée).

c) Expériences

L'expérimentation pourra porter essentiellement sur la réalisation et l'essai de prototypes répondant aux deux orientations définies au paragraphe 3 de nos conclusions. Différents conduits spéciaux ont déjà été soumis aux essais. On essaiera également de contrôler expérimentalement les valeurs des

contraintes maximales à la surface externe des conduits, en mesurant les deux déformations horizontale et verticale sur cette surface. La technique des jauges de contraintes présente ici certaines difficultés d'application, en raison de la rugosité des parois, des températures élevées qui peuvent être atteintes et de l'impossibilité de séparer sur une jauge unique l'effet de l'allongement relatif et l'effet de la température. Toutefois, en disposant deux jauges, une horizontale

et une verticale, dans deux branches du pont de mesure, on pourrait obtenir la différence entre les déformations relatives dans les deux directions, et il suffirait alors de connaître l'une de ces deux déformations pour connaître l'autre. En pratique on pourra mesurer la déformation verticale avec un comparateur, car celle-ci peut être supposée uniforme sur la longueur comprise entre les deux pointes du comparateur lorsque celle-ci ne dépasse pas 30 cm.

Notations

N_r, N_t, N_e : Contraintes élastiques dans un cylindre dans les directions radiale, tangentielle et axiale.
 E : Module d'Young.
 ν : Module de Poisson.
 T_{∞} : Température des fumées, l'origine des températures étant choisie en coïncidence avec la température extérieure.
 a : Rayon intérieur du cylindre creux.
 b : Rayon extérieur du cylindre creux.
 e : Épaisseur de la paroi du conduit ($b - a$).
 T : Température en un point du conduit de rayon r .
 T_{ab} : Température moyenne dans la section du conduit.
 T_{ar} : Température moyenne dans la portion de section du conduit comprise entre les rayons a et r .
 α : Coefficient de dilatation thermique du matériau.
 λ : Conductivité thermique du matériau.

h_a : Coefficient superficiel de transmission de chaleur du côté interne.
 h_b : Coefficient superficiel de transmission de chaleur du côté externe.
 Δx : Épaisseur d'une tranche élémentaire de mur (fig. 7).
 Δt : Intervalle de temps élémentaire.
 c_p : Chaleur spécifique volumique du matériau.
 T_g : Température des fumées à l'instant t .
 T_{air} : Température de l'air extérieur à l'instant t .
 T_1, T_2, T_3, T_4 : Températures aux points 1, 2, 3 et 4 à l'instant t .
 T'_1, T'_2, T'_3, T'_4 : Températures aux points 1, 2, 3 et 4 à l'instant $t + \Delta t$.
 $N_a = \frac{h_a \Delta x}{\lambda}$: Module de Nusselt côté fumées.
 $N_b = \frac{h_b \Delta x}{\lambda}$: Module de Nusselt côté air.
 $M = \frac{c_p \Delta x^2}{\lambda \Delta t}$: Module de Fourier.

Élasticité.

Les calculs d'élasticité conduisent aux formules suivantes :

Premier cas : dilatation axiale nulle - dilatation transversale libre :

$$\begin{cases} N_r = \frac{\alpha E}{1 - \nu} \frac{1}{2} \left(1 - \frac{a^2}{r^2} \right) (T_{ab} - T_{ar}) \\ N_t = \frac{\alpha E}{1 - \nu} \left[T_{ab} - T - \frac{1}{2} \left(1 - \frac{a^2}{r^2} \right) (T_{ab} - T_{ar}) \right] \\ N_l = \frac{\alpha E}{1 - \nu} (\nu T_{ab} - T). \end{cases}$$

Deuxième cas : dilatations axiale et transversale libres :

$$\begin{cases} N_r = \frac{\alpha E}{1 - \nu} \frac{1}{2} \left(1 - \frac{a^2}{r^2} \right) (T_{ab} - T_{ar}) \\ N_t = \frac{\alpha E}{1 - \nu} \left[T_{ab} - T - \frac{1}{2} \left(1 - \frac{a^2}{r^2} \right) (T_{ab} - T_{ar}) \right] \\ N_l = \frac{\alpha E}{1 - \nu} (T_{ab} - T). \end{cases}$$

La contrainte maximale en traction, qui a lieu sur la surface externe, est donnée par la formule :

$$N_t = \frac{\alpha E}{1 - \nu} (T_{ab} - T_b).$$

Lorsque le rayon de courbure est grand vis-à-vis de l'épaisseur de la paroi du mur plan, les formules de contraintes deviennent :

Premier cas : dilatation axiale nulle - dilatation transversale libre :

$$\begin{cases} N_r = 0 \\ N_t = \frac{\alpha E}{1 - \nu} (T_{ab} - T) \\ N_l = \frac{\alpha E}{1 - \nu} (\nu T_{ab} - T). \end{cases}$$

Deuxième cas : dilatations axiale et transversale libres :

$$\begin{cases} N_r = 0 \\ N_t = \frac{\alpha E}{1 - \nu} (T_{ab} - T) \\ N_l = \frac{\alpha E}{1 - \nu} (T_{ab} - T). \end{cases}$$

L'expression de la contrainte maximale en traction est toujours :

$$N_t = \frac{\alpha E}{1 - \nu} (T_{ab} - T).$$

Distribution des températures.

La distribution des températures correspondant à la figure 7 (mur plan) a été calculée par les formules classiques :

$$T'_1 = 2 \frac{N_a}{M} T_2 + \frac{2}{M} T_2 + \left(1 - \frac{2N_a + 2}{M}\right) T_1$$

$$T'_2 = \frac{1}{M} T_1 + \frac{1}{M} T_3 + \left(1 - \frac{2}{M}\right) T_2$$

$$T'_3 = \frac{1}{M} T_2 + \frac{1}{M} T_4 + \left(1 - \frac{2}{M}\right) T_3$$

$$T'_4 = \frac{2}{M} T_3 + 2 \frac{N_b}{M} T_{air} + \left(1 - \frac{2N_b + 2}{M}\right) T_4$$

Pour le cylindre creux les formules sont du même type, mais un peu plus complexes.

Les intervalles Δt et Δx doivent être choisis de telle sorte que l'on ait :

$$\Delta t \leq \frac{(\Delta x)^2}{\frac{2c\rho}{\lambda} \left(1 + \frac{h_b \Delta x}{\lambda}\right)}$$

Contraintes en régime permanent.

Dans un mur plan, la contrainte maximale en traction est donnée par la formule :

$$N_{tm} = \frac{\alpha E}{1 - \nu} \frac{T_0}{2} \frac{\frac{e}{\lambda}}{\frac{1}{h_a} + \frac{1}{h_b} + \frac{e}{\lambda}}$$

Si on veut comparer la sévérité des contraintes maximales dans une paroi plane et dans une paroi cylindrique ayant la même épaisseur, composée du même matériau et exposée aux mêmes ambiances, on peut utiliser la formule :

$$N_{tm} \text{ cylindre} = N_{tm} \text{ plan} \times A \times B$$

où A est un facteur de forme ne dépendant que du

$$\text{rapport } \frac{b}{a} : \quad A = \frac{\frac{b^2}{a^2} - 1 - 2l_n \frac{b}{a}}{l_n \frac{b}{a} \times \left(\frac{b^2}{a^2} - 1\right)}$$

et B un facteur dépendant à la fois de a et b et des caractéristiques thermiques h_a , h_b , et λ :

$$B = \frac{1 + \left(\frac{1}{h_a} + \frac{1}{h_b}\right) \frac{\lambda}{e}}{1 + \left(\frac{1}{h_a a} + \frac{1}{h_b b}\right) \frac{\lambda}{l_n \frac{b}{a}}}$$

Si on choisit $h_a = 4 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ \text{C}$, $h_b = 10 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ \text{C}$, $b - a = 3 \text{ cm}$, les valeurs de A , B (λ) et B (0,5) montrent que les contraintes maximales sont d'autant plus faibles que la courbure de la paroi cylindrique est plus grande.

En se limitant à la paroi plane, si on écrit que la contrainte maximale en traction est inférieure à la limite de rupture en traction simple, on obtient la formule :

$$\frac{\alpha E}{1 - \nu} \frac{T_0}{2} \frac{\frac{e}{\lambda}}{\frac{1}{h_a} + \frac{1}{h_b} + \frac{e}{\lambda}} < R$$

qui peut aussi s'écrire :

$$\frac{e}{\lambda} < \frac{\frac{1}{h_a} + \frac{1}{h_b}}{\frac{\alpha E T_0}{2(1 - \nu) R} - 1}$$

En exprimant d'autre part que le flux de chaleur admissible à travers la paroi du conduit est inférieure à une certaine limite Q_0 , on obtient l'inégalité :

$$\frac{T_0}{Q_0} - \left(\frac{1}{h_a} + \frac{1}{h_b}\right) < \frac{e}{\lambda}$$

Finalement, pour résoudre simultanément les problèmes de résistance au choc thermique et d'isolation, on doit satisfaire la double inéquation :

$$\frac{T_0}{Q_0} - \left(\frac{1}{h_a} + \frac{1}{h_b}\right) < \frac{e}{\lambda} < \frac{\frac{1}{h_a} + \frac{1}{h_b}}{\frac{\alpha E T_0}{2(1 - \nu) R} - 1}$$

Cette double inégalité suppose que l'on ait :

$$\frac{T_0}{Q_0} - \left(\frac{1}{h_a} + \frac{1}{h_b}\right) < \frac{\frac{1}{h_a} + \frac{1}{h_b}}{\frac{\alpha E T_0}{2(1 - \nu) R} - 1}$$

Avec :

$$h_a = 4 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ \text{C};$$

$$h_b = 10 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ \text{C};$$

$$\nu = 0,25;$$

$$\frac{Q_0}{T_0} = 1 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ \text{C}.$$

Cette condition s'écrit :

$$\frac{R}{\alpha E} > 200.$$

BIBLIOGRAPHIE

- [1]. Timoshenko and Goodier, *Theory of elasticity*, New York, 1951.
- [2]. G. M. Dusinberre, *Numerical analysis of heat flow*, New York, 1949.
- [3]. J. Tirel, Contraintes thermiques et fissuration des conduits de fumée — *Chaleur et Industrie*, à paraître.

- [4]. Rinck (¹), Études des contraintes auxquelles sont soumis les conduits de fumée — *Revue U.B.R.*, Paris, 1956.

(¹) Cet article étant paru après la remise du manuscrit de l'étude ci-dessus il n'a pu en être tenu compte.

OBSERVATIONS EXPÉRIMENTALES

SUR LES FISSURES DE CONDUITS DE FUMÉE

par **A. CLAUDON** et **J. TIREL**

Ingénieurs au Comité Scientifique et Technique de l'Industrie du Chauffage et de la Ventilation, Paris.

Les dessins et photos que nous présentons ici sont extraits d'une collection importante de conduits fissurés. Ils ont été choisis pour montrer dans chaque catégorie de forme et de nature de matériau, la disposition des fissures apparues.

Nous mettons en garde les lecteurs contre toutes conclusions trop rapides, après l'examen de ces documents, relatives à la tenue au feu ou à la résistance au choc thermique des différents matériaux. Il faudra se garder de juger les matériaux comme résistant au feu jusqu'à telle ou telle température sur le vu des chiffres indiqués pour des conduits particuliers.

La résistance au choc thermique des conduits de fumée est un phénomène plus complexe et la présente étude ne traite que de la formation des fissures, de leur aspect et de leur évolution, les températures n'étant données qu'à titre indicatif.

Nous avons classé les matériaux utilisés pour les conduits de fumée en quinze catégories :

1. Conduits circulaires pleins.
2. Conduits en briques à parois pleines.
3. Conduits quadrangulaires en terre cuite à parois pleines.
4. Conduits quadrangulaires en béton à parois pleines.
5. Conduits quadrangulaires en béton armé à parois pleines.
6. Conduits quadrangulaires en amiante-ciment.
7. Conduits cylindro-quadrangulaires en béton à parois pleines.
8. Conduits en briques multicellulaires.
9. Conduits quadrangulaires en terre cuite à parois creuses.
10. Conduits quadrangulaires en béton à parois creuses.
11. Conduits quadrangulaires en béton à double parois amovibles.
12. Conduits cylindro-quadrangulaires à parois creuses.
13. Conduit circulaire en tôle à chemise.
14. Conduits quadrangulaires en béton à chemise cylindrique.
15. Conduits revêtus d'un enduit.

Certains types de ces conduits ne sont pas utilisés en France, mais pour être complet, il est nécessaire de ne pas les négliger.

Un certain nombre de remarques s'impose :

— Certaines fissures restent invisibles à l'œil nu et d'après les essais allemands, ne présentent pas de gravité au point de vue de la perméabilité des conduits.

— Toutes les fissures commencent par être filiformes et leur apparition est souvent précédée de craquements.

— Dans un certain nombre de cas, les fissures intéressent toute l'épaisseur de la paroi et ne se referment pas à froid, le matériau présente alors un début de désagrégation qui le rend inutilisable et ne peut permettre un chemisage du conduit.

— Les fissures des conduits en briques prennent presque toujours naissance aux joints et en se propageant dans la hauteur provoquent alors la rupture de certains éléments, suivant une direction générale verticale.

— Les fissures des conduits en boisseries à simple paroi ont lieu en général dans l'axe vertical des faces, et se produisent souvent par paires sur des faces opposées, alors que dans le cas de boisseries à double ou même triple paroi, les fissures apparaissent près d'une liaison.

Au cours d'examen à chaud que nous avons pu effectuer en laboratoire, il semble que certaines fissures filiformes apparaissent sur la paroi intérieure (sans intéresser l'épaisseur de la paroi, et par conséquent sans être visibles à l'extérieur) : ces fissures sont souvent, pour des boisseries présentant par ailleurs des fissures verticales, horizontales et dans l'axe de l'élément, elles se referment très rapidement — quelques dixièmes de seconde après l'arrêt du chauffage. Elle ne sont donc visibles qu'à haute température, et absolument invisibles après refroidissement.

Dans le tableau ci-après nous avons essayé de classer les fissures en fonction de leur forme et de leur répartition :

ESSAI DE CLASSIFICATION DES FISSURES

Cat.	N° des fig.	RÉPARTITION DES FISSURES	FORMES DES FISSURES	OBSERVATIONS
1	1	—	verticales.	On remarquera sur la photo l'éclatement et la protubérance dus à un agrégat trop gros. Le matériau éclate avec une forte explosion et avec des projections. Les essais n'ont pas été assez poussés pour permettre de conclure.
	2	Prédominance des fissures de matériau.....	verticales, opposées et sur un même diamètre.	
	3	—	voir observations.	
	4	—	»	
2	5	Prédominance des fissures de joint.....	en escalier.	Les fissures horizontales sont toujours des fissures de joints. » » » » L'absence de fissures horizontales est caractéristique de ce matériau.
	6	»	horizontales et verticales.	
	7	»	en escalier.	
	8	»	horizontales et verticales.	
	9	»	en escalier.	
	10	Prédominance des fissures de matériau.....	verticales.	
3	11	Prédominance des fissures de matériau.....	verticales.	Pas de fissures de joints. »
	12	»	»	
4	13	Prédominance des fissures de matériau.....	en zigzags verticaux.	Les boisseaux sont fissurés au même niveau sur les deux faces opposées. » Les fissures intéressent toute l'épaisseur des boisseaux. Les fissures n'intéressent que la moitié intérieure de l'épaisseur des parois. Teinte rose de la paroi intérieure.
	14	»	»	
	15	»	verticales.	
	16	—	verticales et intérieures.	
5	17	Prédominance des fissures de matériau.....	en zigzags verticaux.	Les boisseaux sont fissurés au même niveau sur les deux faces opposées. » »
	18	»	»	
	19	»	»	
	20	»	»	
6	21	—	verticales.	Les boisseaux sont fissurés au même niveau sur les deux faces opposées. D décollement de la chemise en amiant-ciment. Fissures difficiles à suivre sur l'isolation.
	22	—	voir observations.	
7	23	Égalité des fissures de joint et de matériau..	horizontales et verticales.	Les fissures horizontales ne sont pas toujours des fissures de joints.
	24	Prédominance des fissures de matériau.....	verticales.	
8	25	Prédominance des fissures de joint.....	prédominance horizontale.	Briques creuses allemandes. » »
	26	»	»	
	27	Égalité des fissures de joint et de matériau..	horizontales et verticales.	
	28	»	»	
9	29	Prédominance des fissures de matériau.....	verticales.	Les fissures ne sont pas toujours dans l'axe des faces du conduit. » Crâquements très sonores lors de la fissuration. Les fissures ne sont pas toujours dans l'axe des faces du conduit.
	30	»	»	
	31	»	»	
	32	»	»	
10	33	Prédominance des fissures de matériau.....	forme arrondie.	Voir la figure. C'est l'un des rares cas où les fissures sont inclinées.
	34	»	tendance oblique.	
11	35	Prédominance des fissures de matériau.....	verticales.	La distribution des contraintes thermiques est complexe. »
	36	»	très courtes.	
12	37	—	voir observations.	Les essais n'ont pas été assez poussés pour permettre de conclure. Fissures au voisinage des tenons.
	38	Prédominance des fissures de matériau.....	verticales.	
13	39	—	voir observations.	Les essais n'ont pas été assez poussés pour permettre de conclure. »
	40	—	»	
14	41	Prédominance des fissures de matériau.....	multitude de fissures courtes.	Matériaux hollandais. »
	42	»	»	
15	43	Prédominance des fissures de matériau.....	verticales avec liais. horiz.	L'enduit peut accuser des fissures qui n'intéressent pas le matériau porteur (?). »
	44	»	verticales.	

Références :

- [1] Eidgenössische Materialprüfungs- und Versuchsanstalt für Industrie, Bauwesen und Gewerbe. ZÜRICH - 1953.
- [2] Instituut T. N. O. Voor Bouwmaterialen En Bouwconstructies. DELFT - 1956.
- [3] BECHER P. : Varmerisoler og Brandsikring af sma Skorstene. KOBENHAVN - 1955.

- [4] SEEKAMP H. et MÖHLER K. : Brandversuche an Hausschornsteinen aus Mauerwerk und Formstücken. BERLIN - 1956.
- [5] Laboratoires de la Société Professionnelle des Produits Français de Terre Cuite. PARIS - 1956.
- [6] Comité Scientifique et Technique de l'Industrie du Chauffage et de la Ventilation. PARIS - 1957.

1. — CONDUITS CIRCULAIRES PLEINS

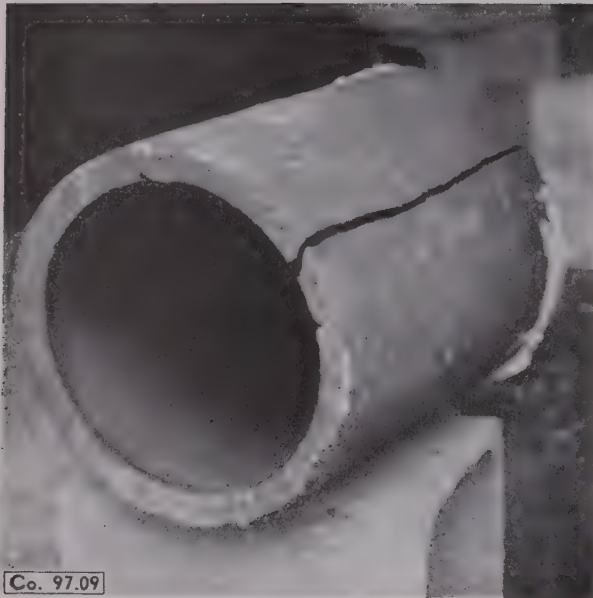


Fig. 1. — Terre cuite [6].

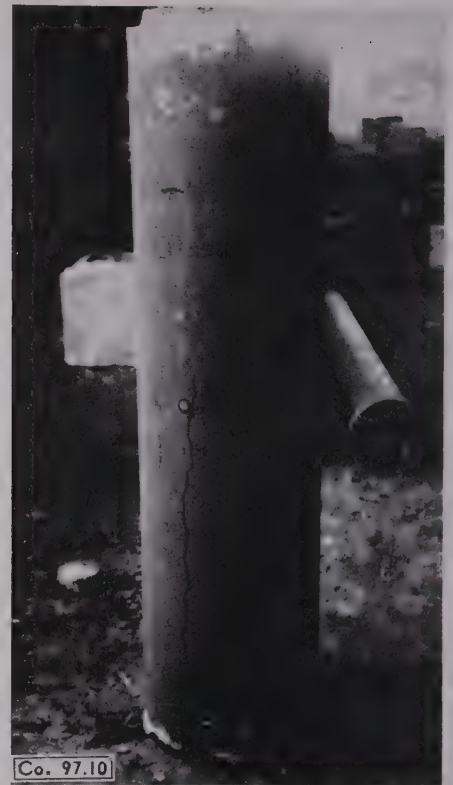


Fig. 2. — Béton
(non commercialisé)
[6].



Fig. 3. — Amiante-ciment [6].



Fig. 4. — Fonte Les essais n'ont
pas été assez poussés pour per-
mettre de conclure [6].

2. CONDUITS EN BRIQUES A PAROIS PLEINES

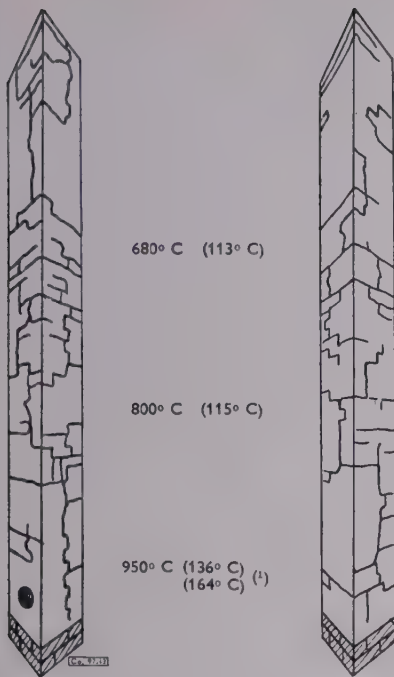


Fig. 5.

MATÉRIAUX

Briques normales.

Section intérieure du conduit : 14×20 cm.

Épaisseur du conduit : 11,5 cm.

Durée de l'essai : 6 h.

Température maximale atteinte par les gaz : 950°C (180 mn).

Référence : 4.



MATÉRIAUX

Briques normales.

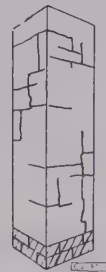
Section intérieure du conduit : 20×20 cm.

Épaisseur du conduit : 11 cm.

Durée de l'essai : 7 h 45 mn.

Température maximale atteinte par les gaz : 812°C .

Référence : 1.



Température de surface externe des parois :

— moyenne : $89,2^{\circ}\text{C}$.

— max. : $94,2^{\circ}\text{C}$.



Fig. 6.

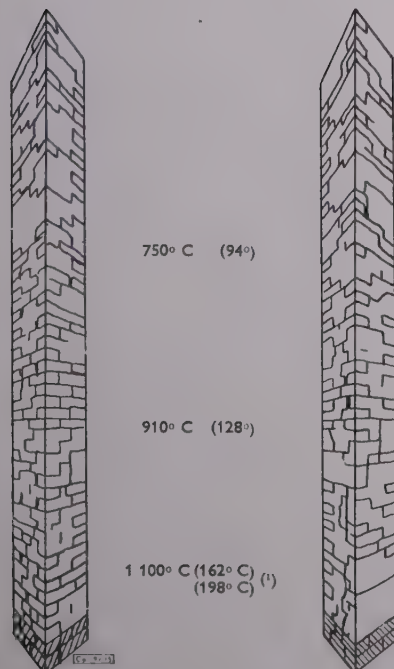


Fig. 7.

MATÉRIAUX

Briques silico-calcaire.

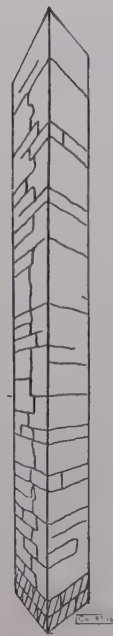
Section intérieure du conduit : 14×20 cm.

Épaisseur du conduit : 11,5 cm.

Durée de l'essai : 6 h.

Température maximale atteinte par les gaz : $1\ 180^{\circ}\text{C}$ (180 mn).

Référence : 4.



655°C (72°C)

610°C (75°C)

$1\ 025^{\circ}\text{C}$ (102°C) (120°C) (1)

MATÉRIAUX

Briques de bricaillon.

Section intérieure du conduit : 14×20 cm.

Épaisseur du conduit : 11,5 cm.

Durée de l'essai : 6 h.

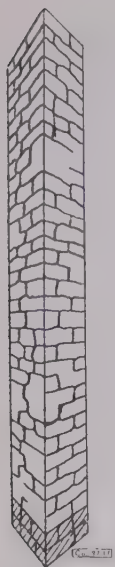
Température maximale atteinte par les gaz : $1\ 025^{\circ}\text{C}$ (180 mn).

Référence : 4.



Fig. 8.

(1) Plus haute valeur obtenue au cours de l'essai. Entre parenthèses on a indiqué les températures de surface externe des parois.



MATÉRIAUX

Briques de bicaillon.
Section intérieure du conduit : 14 × 20 cm.
Épaisseur du conduit : 11,5 cm.
Durée de l'essai : 3 h.
Température maximale atteinte par les gaz : 1 000° C (60 mn).
Référence : 4.

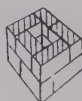


Fig. 9.



720° C (59° C)

830° C (62° C)

1 000° C (70° C) (1)
(76° C)



MATÉRIAUX

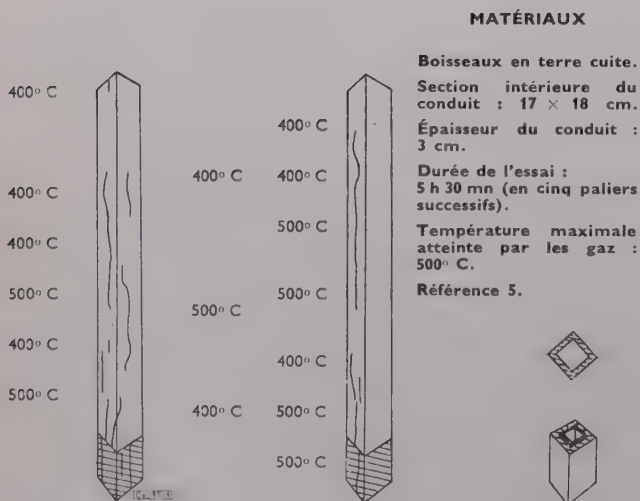
Briques de ponce.
Section intérieure du conduit : 14 × 20 cm.
Épaisseur du conduit : 11,5 cm.
Durée de l'essai : 6 h.
Température maximale atteinte par les gaz : 1 000° C (180 mn).
Référence : 4.



(1) Plus haute valeur obtenue au cours de l'essai.
Entre parenthèses on a indiqué les températures de surface externe des parois.

Fig. 10.

3. — CONDUITS QUADRANGULAIRES EN TERRE CUITE A PAROIS PLEINES



MATÉRIAUX

Boisseaux en terre cuite.
Section intérieure du conduit : 17 × 18 cm.
Épaisseur du conduit : 3 cm.
Durée de l'essai : 5 h 30 mn (en cinq paliers successifs).
Température maximale atteinte par les gaz : 500° C.
Référence 5.



Températures d'apparition des fissures aux niveaux correspondants.

Aucune observation n'a été faite sur la face arrière du conduit qui était accolé à une paroi.

Fig. 11.

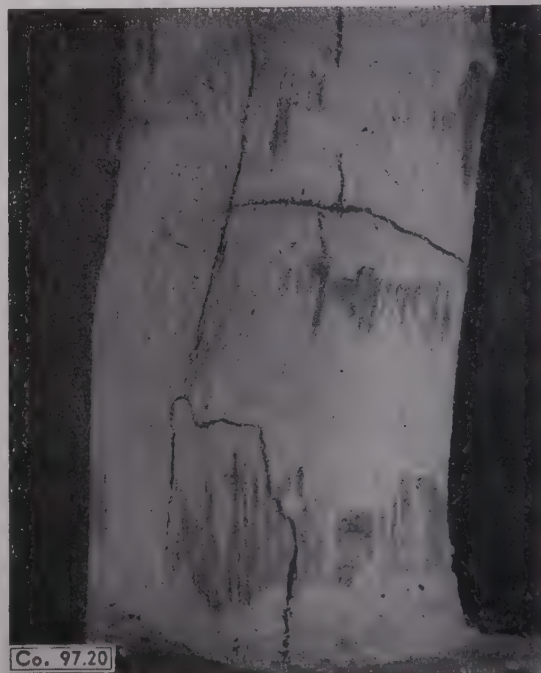


Fig. 12. — Boisseaux accolés en terre cuite [6].

4. — CONDUITS QUADRANGULAIRES EN BÉTON A PAROIS PLEINES

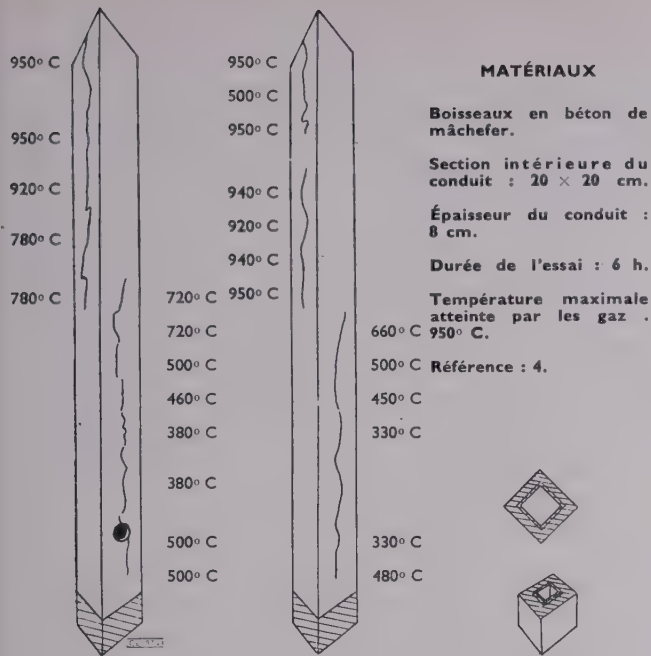


Fig. 13.

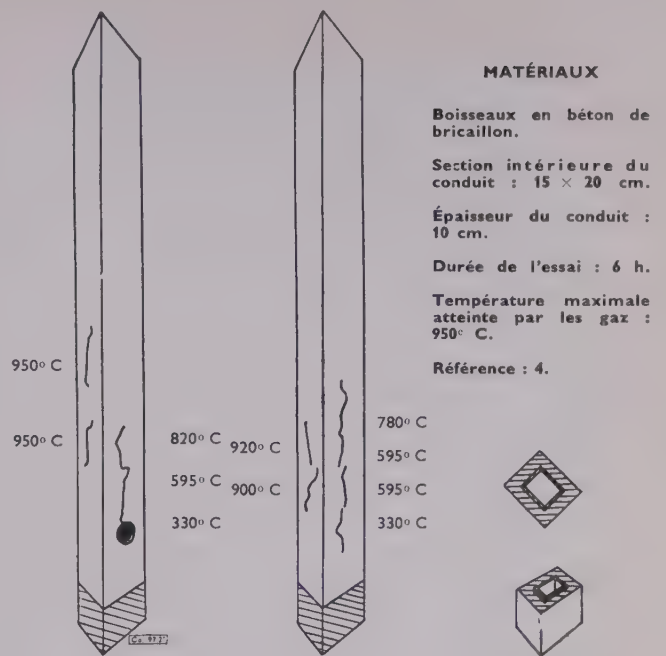


Fig. 14.

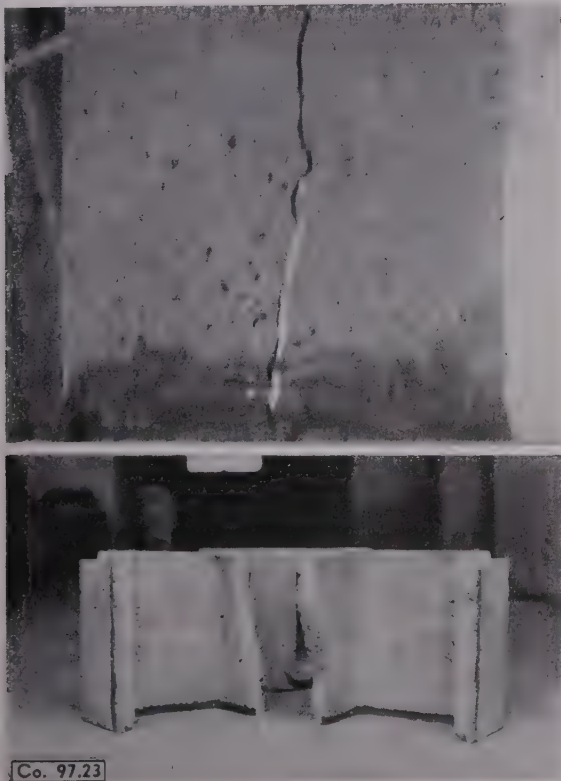


Fig. 15. — Boisseaux en béton de puzzolane [6].

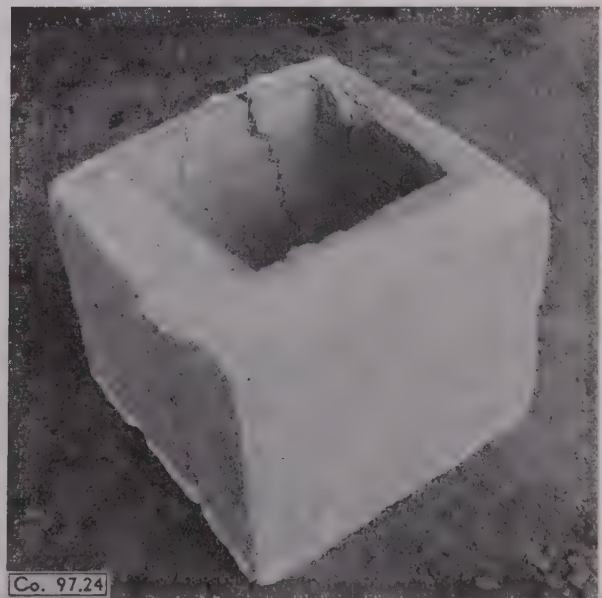
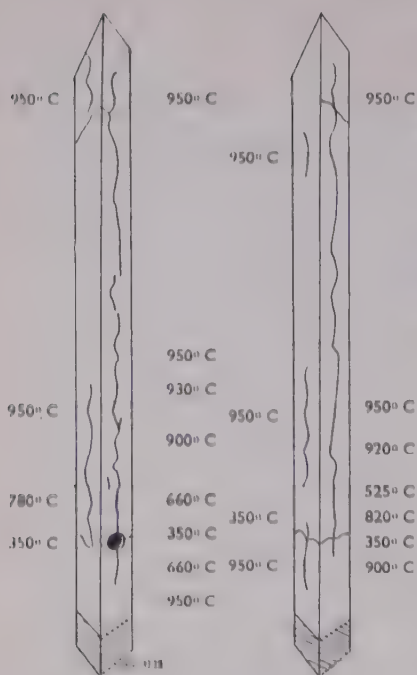


Fig. 16. — Boisseau en béton de ponce.
La paroi intérieure prend une teinte rose [6].

5. — CONDUITS QUADRANGULAIRES EN BÉTON ARMÉ A PAROIS PLEINES



MATÉRIAUX

Boisseaux en béton de schiste cuit et armé (ϕ 6 mm).

Section intérieure du conduit : 14 x 20 cm.

Épaisseur du conduit : 8 cm.

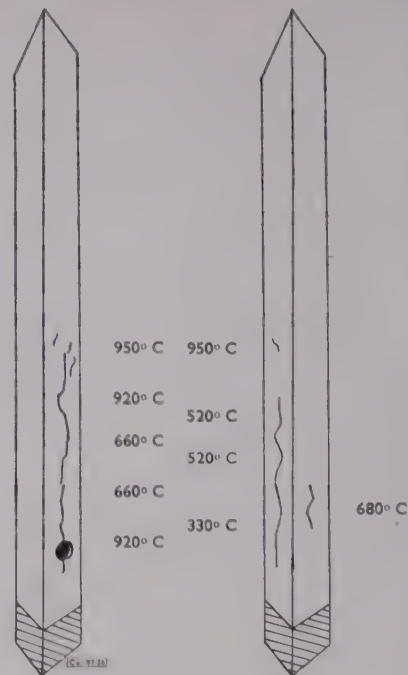
Durée de l'essai : 6 h.

Température maximale atteinte par les gaz : 950° C.

Référence 4.



Fig. 17.



MATÉRIAUX

Boisseaux en béton de bricaillon armé (ϕ 5,5 mm).

Section intérieure du conduit : 15 x 20 cm.

Épaisseur du conduit : 10 cm.

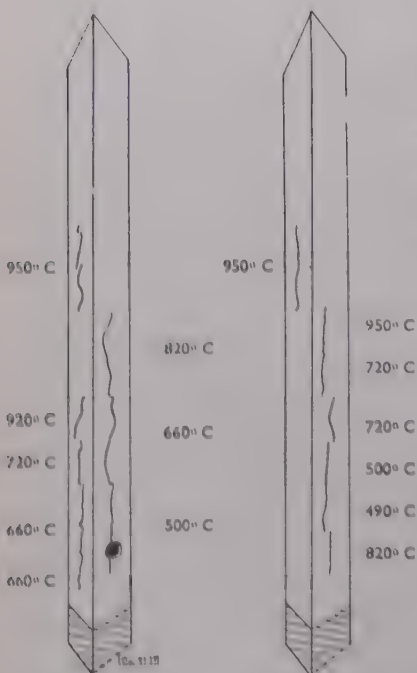
Durée de l'essai : 6 h.

Température maximale atteinte par les gaz : 950° C.

Référence : 4.



Fig. 18.



MATÉRIAUX

Boisseaux en béton de bricaillon armé (ϕ 5,5 mm).

Section intérieure du conduit : 20 x 20 cm.

Épaisseur du conduit : 7,5 cm.

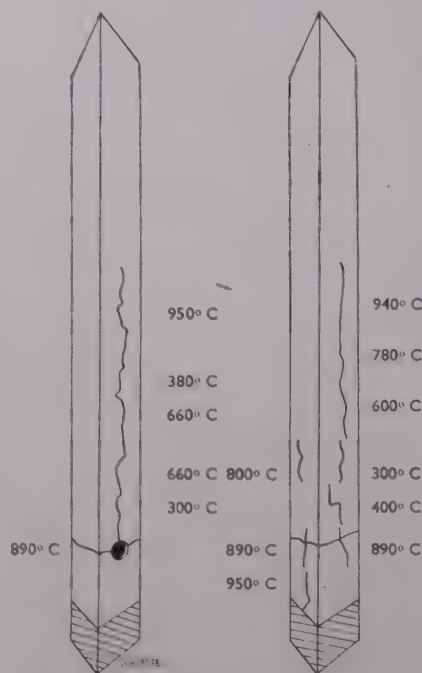
Durée de l'essai : 6 h.

Température maximale atteinte par les gaz : 950° C.

Référence : 4.



Fig. 19.



MATÉRIAUX

Boisseaux en béton de bricaillon armé (ϕ 5,5 mm).

Section intérieure du conduit : 20 x 20 cm.

Épaisseur du conduit : 10 cm.

Durée de l'essai : 6 h.

Température maximale atteinte par les gaz : 950° C.

Référence : 4.



Fig. 20.

Températures d'apparition des fissures aux niveaux correspondants.

6. — CONDUITS QUADRANGULAIRES EN AMIANTE-CIMENT



Fig. 21. — Amiante-ciment en paroi mince [6].

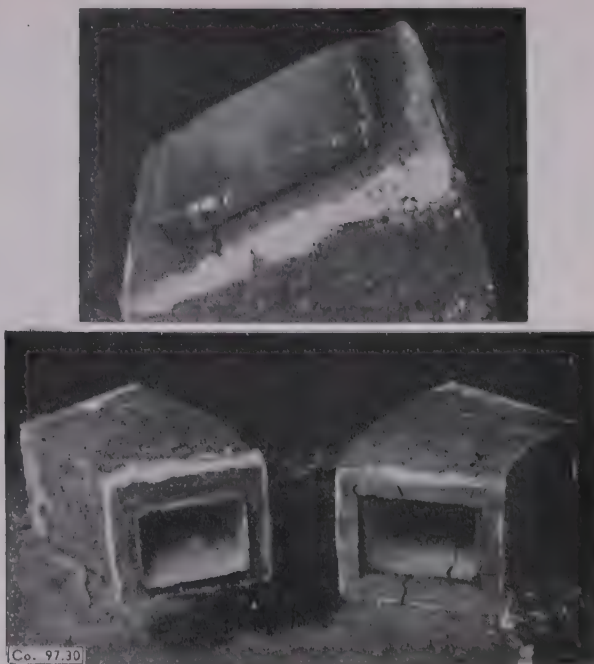


Fig. 22. — Amiante-ciment avec isolation [6].

7. — CONDUITS CYLINDRO-QUADRANGULAIRES EN BÉTON A PAROIS PLEINES

MATÉRIAUX

Béton de hollich.

Section intérieure du conduit : \varnothing 12 cm.

Épaisseur du conduit : 7 cm.

Durée de l'essai : 6 h.

Température maximale atteinte par les gaz : 600° C.

Référence : 2.



Fig. 23.

MATÉRIAUX

Ponce naturelle.

Section intérieure du conduit : \varnothing 20 cm.

Épaisseur du conduit : 8 cm.

Durée de l'essai : 3 h.

Température maximale atteinte par les gaz : 950° C.

Référence : 4.



890° C

780° C

710° C

950° C

890° C

860° C

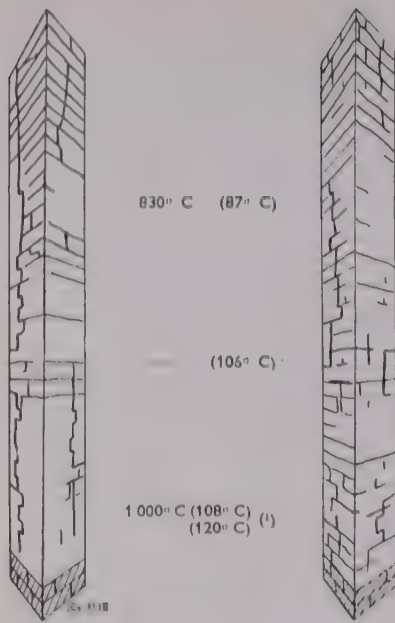
950° C



Températures d'apparition des fissures aux niveaux correspondants.

Fig. 24.

8. — CONDUITS EN BRIQUES MULTICELLULAIRES



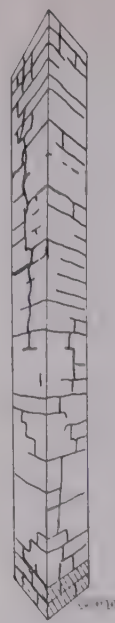
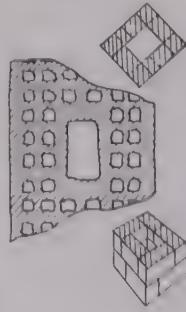
830° C (87° C)

(106° C)

1 000° C (108° C)
(120° C) ⁽¹⁾

Fig. 25.

MATÉRIAUX
Briques multicellulaires.
Section intérieure du conduit : 14 × 20 cm.
Épaisseur du conduit : 11,5 cm.
Durée de l'essai : 6 h.
Température maximale atteinte par les gaz : 1 000° C (180 mn).
Référence : 4.



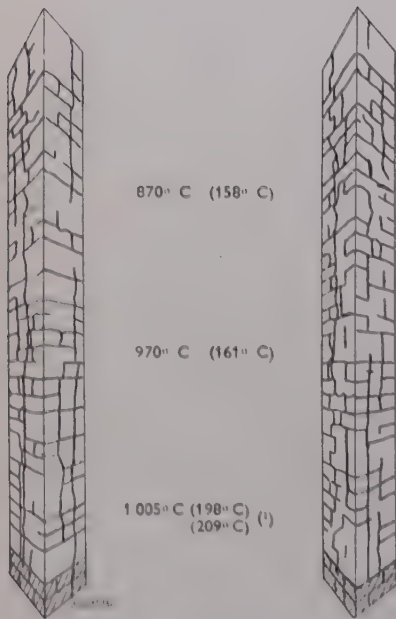
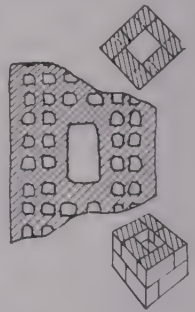
820° C (94° C)

850° C (108° C)

930° C (126° C)
(140° C) ⁽¹⁾

Fig. 26.

MATÉRIAUX
Briques multicellulaires.
Section intérieure du conduit : 14 × 20 cm.
Épaisseur du conduit : 11,5 cm.
Durée de l'essai : 6 h.
Température maximale atteinte par les gaz : 930° C.
Référence : 4.



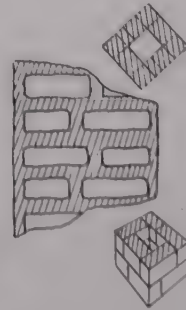
870° C (158° C)

970° C (161° C)

1 005° C (198° C)
(209° C) ⁽¹⁾

Fig. 27.

MATÉRIAUX
Briques multicellulaires.
Section intérieure du conduit : 14 × 20 cm.
Épaisseur du conduit : 11,5 cm.
Durée de l'essai : 6 h.
Température maximale atteinte par les gaz : 1 005° C (180 mn).
Référence : 4.



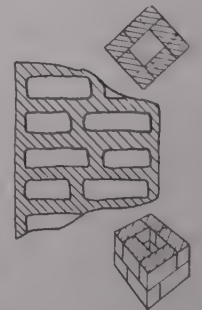
900° C (147° C)

970° C (164° C)

1 010° C (189° C)
(212° C) ⁽¹⁾

Fig. 28.

MATÉRIAUX
Briques multicellulaires.
Section intérieure du conduit : 14 × 20 cm.
Épaisseur du conduit : 11,5 cm.
Durée de l'essai : 6 h.
Température maximale atteinte par les gaz : 1 010° C (180 mn).
Référence : 4.



⁽¹⁾ Plus haute valeur obtenue au cours de l'essai. Entre parenthèses on a indiqué les températures de surface externe des parois

9. — CONDUITS QUADRANGULAIRES EN TERRE CUITE A PAROIS CREUSES

MATÉRIAUX

Boisseaux alvéolés en terre cuite.

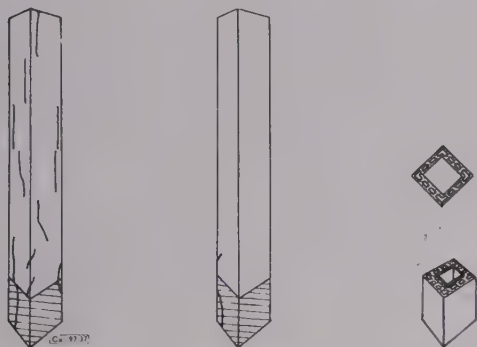
Section intérieure du conduit : 21×21 cm.

Épaisseur du conduit : 5 cm.

Durée de l'essai : 4 h 30 mn (en quatre paliers successifs).

Température maximale atteinte par les gaz : 280°C .

Référence : 5.



Aucune observation n'a été faite sur la face arrière du conduit qui était accolé à une paroi.

Fig. 29.



Co. 97.38

Fig. 30. — Boisseaux alvéolés en terre cuite [6].



Co. 97.39

Fig. 31. — Boisseaux alvéolés en terre cuite [6].



Co. 97.40

Fig. 32. — Boisseaux alvéolés en terre cuite (non commercialisés) [6].

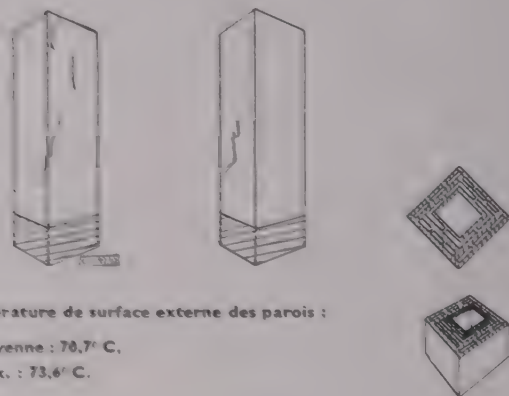
10. — CONDUITS QUADRANGULAIRES EN BÉTON A PAROIS CREUSES



Fig. 33. — Béton [6].

MATÉRIAUX

Boisseaux en béton de bricaillon.
Section intérieure du conduit : 25 x 25 cm.
Épaisseur du conduit : 12 cm.
Durée de l'essai : 7 h 45 mn.
Température maximale atteinte par les gaz : 790° C.
Référence : 1.



Température de surface externe des parois :

— moyenne : 70,7° C.
— max. : 73,6° C.

Fig. 34.

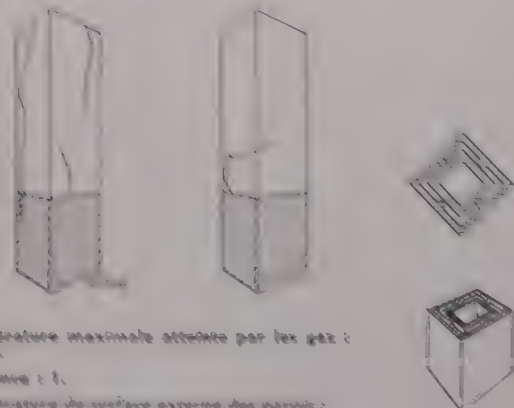
11. — CONDUITS QUADRANGULAIRES EN BÉTON A DOUBLE PAROIS AMOVIBLES

MATÉRIAUX

Boisseaux en béton de bricaillon et sable.
Section intérieure du conduit : 25 x 25 cm.
Épaisseur du conduit :

Enveloppe	4,5 cm
Vide	4 cm
Chemise	4 cm
	12,5 cm

Durée de l'essai : 7 h 45 mn.



Température maximale atteinte par les gaz : 812° C.

Référence : 1.

Température de surface externe des parois :

— moyenne : 78,5° C.
— max. : 81,7° C.

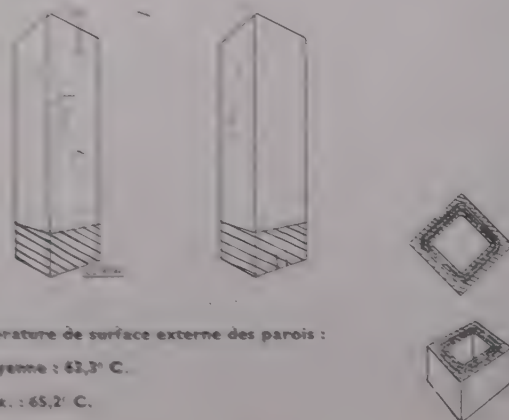
Fig. 35.

MATÉRIAUX

Boisseaux en béton de bricaillon et sable.
Section intérieure du conduit : 25 x 25 cm.
Épaisseur du conduit :

Enveloppe	4,5 cm
Chemise	7,5 cm
	12 cm

Durée de l'essai : 7 h 45 mn.
Température maximale atteinte par les gaz : 804° C.
Référence : 1.



Température de surface externe des parois :

— moyenne : 62,3° C.
— max. : 65,2° C.

Fig. 36.

12. — CONDUITS CYLINDRO-QUADRANGULAIRES A PAROIS CREUSES



Fig. 37. — Terre cuite (non commercialisée) [6].



Fig. 38. — Béton de mâchefer. Les essais n'ont pas été assez poussés pour permettre de conclure [6].

13. — CONDUITS CIRCULAIRES EN TOLE A CHEMISE



Fig. 39 — Tôle avec chemise en ciment fondu [6].

Les essais n'ont pas été assez poussés pour permettre de conclure.

14. — CONDUITS QUADRANGULAIRES EN BÉTON A CHEMISE CYLINDRIQUE

MATÉRIAUX

Isolation et chemise en
béton de holllich.

Section intérieure du
conduit : 12 cm.

Épaisseur du conduit :

Chemise 3,5 cm
Totale 9,5 cm

Durée de l'essai : 6 h.

Température maximale
atteinte par les gaz :
600° C.

Référence : 2.

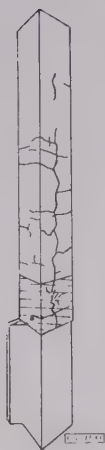


Fig. 40.

MATÉRIAUX

Isolation en béton de
holllich et chemise en
terre cuite.

Section intérieure du
conduit : \varnothing 12 cm.

Épaisseur du conduit :

Chemise 1,75 cm
Totale 7,5 cm

Durée de l'essai : 6 h.

Température maximale
atteinte par les gaz :
600° C.

Référence : 2.



Fig. 41.

15. — CONDUITS REVÊTUS D'UN ENDUIT

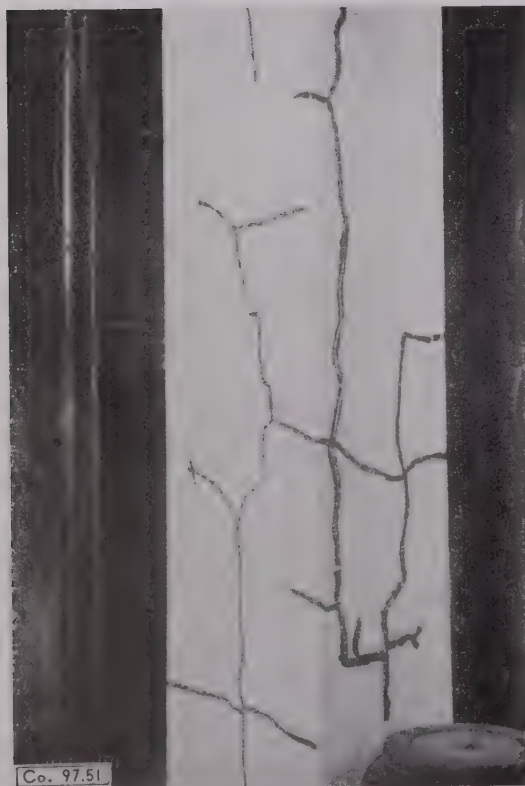


Fig. 42. — Conduit revêtu d'un enduit plâtre [6].

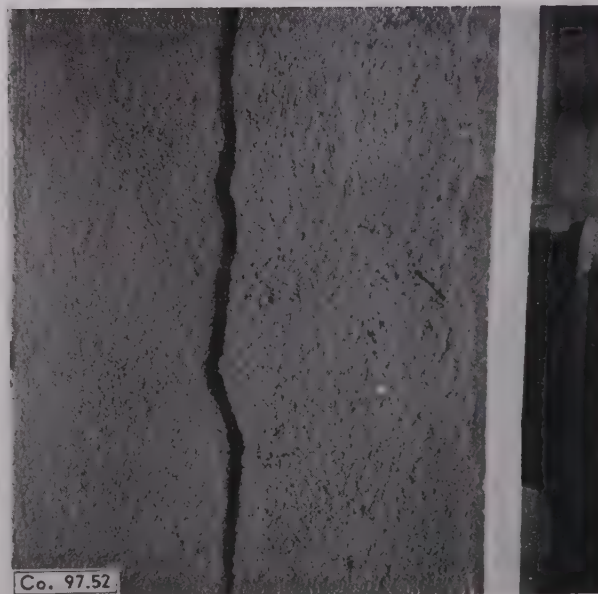


Fig. 43. — Conduit revêtu d'un enduit ciment [6].

(Reproduction interdite.)

SUPPLÉMENT AUX

ANNALES DE L'INSTITUT TECHNIQUE DU BATIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS

JANVIER 1958

Onzième Année, N° 121

Série : ESSAIS ET MESURES (40)

CENTRE D'ÉTUDES SUPÉRIEURES

SÉANCE DU 5 MARS 1957

SOUS LA PRÉSIDENTENCE DE **M. STAHL**

Inspecteur général des Ponts et Chaussées,
Directeur du Laboratoire Central des Ponts et Chaussées

**I. — ÉTUDE DES CONTRAINTES
DANS LES MILIEUX HÉTÉROGÈNES
APPLICATION AU BÉTON**

**II. — UTILISATION DES RÉSEAUX
POUR L'ÉTUDE DES DÉFORMATIONS**

Par **M. P. DANTU**

Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées.

PRÉSENTATION DU PRÉSIDENT

En principe, le Président de séance a pour devoir de présenter le conférencier. Je serai extrêmement bref parce que je pense que la véritable présentation du conférencier se fait a posteriori par sa conférence elle-même.

Comme j'ai le privilège de connaître la conférence que va nous faire M. Dantu, je suis persuadé que nulle autre présentation ne sera meilleure que celle-ci.

M. Dantu, après avoir occupé les différents postes de services ordinaires dans le Service des Ponts et Chaussées, et d'Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées, a été affecté à un des six postes que ce Corps affecte depuis l'avant-guerre, depuis un décret de 1936 je crois, à des postes soit de recherche pure, soit de recherche appliquée et, à ce titre, il travaille sous la direction de M. le Professeur Thiry que je remercie d'avoir bien voulu venir ici.

M. Dantu, en outre, veut bien consacrer une partie de son activité au Laboratoire central des Ponts et Chaussées où il a d'abord été chargé d'un service d'auscultation des ouvrages et où, ensuite, il a pris la direction d'une section d'optique. Optique et Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, il faut faire la conjonction des deux mots pour expliquer ce qu'est le domaine dans lequel M. Dantu travaille plus particulièrement.

Aujourd'hui il va vous parler en premier lieu de la répartition des efforts dans un milieu hétérogène et en particulier dans le béton. Ensuite il vous exposera certaines méthodes optiques d'études des déformations qu'il a mises au point en vue d'étudier à la fois les déformations et la répartition des contraintes.

SOMMAIRE

PREMIÈRE PARTIE ÉTUDE DES CONTRAINTES DANS LES MILIEUX HÉTÉROGÈNES APPLICATION AU BÉTON

I. — Étude théorique.

Relations entre contraintes et extensions au voisinage d'une surface de séparation entre deux milieux.
Position du problème de la détermination des contraintes dans un milieu hétérogène.
Application de méthodes statistiques.

II. — Relations entre E , E' , E'' .

Considérations théoriques.
Résultats expérimentaux.

III. — Étude expérimentale des contraintes à petite échelle.

Vernis craquelants.
Vernis photoélastiques.
Jauges.
Bétons à deux dimensions.
Conclusions

DEUXIÈME PARTIE UTILISATION DES RÉSEAUX POUR L'ÉTUDE DES DÉFORMATIONS

I. — Principes et but de la méthode.

II. — Mode opératoire. Appareillage.

Réseaux.
Technique d'impression des réseaux.
Production et photographie du moiré.

III. — Exemples d'application.

Matières plastiques.
Métaux.

IV. — Études à trois dimensions.

Élasticité à trois dimensions.
Plasticité à trois dimensions.

V. — Tracé direct des lignes de niveau de ε_x , ε_z et γ

Variation de la période du réseau témoin.
Rotation du réseau témoin.
Moiré du deuxième ordre ou moiré de moiré.

VI. — Précision.

VII. — Corrections.

Influence de la déformation du réseau perpendiculairement à son plan.
Influence d'une non-coïncidence des plans du réseau témoin et du réseau déformé.
Influence d'une rotation du réseau témoin dans son plan.
Influence des inégalités périodiques du réseau.

EXPOSÉ DE M. DANTU

PREMIÈRE PARTIE

ÉTUDE DES CONTRAINTES DANS LES MILIEUX HÉTÉROGÈNES. APPLICATION AU BÉTON

Tous les matériaux sont hétérogènes, ce n'est qu'une question d'échelle. L'hétérogénéité d'un béton se voit à l'œil, celle d'un mortier à la loupe, celle d'un acier se voit au microscope, etc... jusqu'à l'échelle moléculaire.

Les milieux pulvérulents et les milieux poreux sont encore des milieux hétérogènes. C'est le cas particulier où l'un des corps constituants est l'air.

Ce qu'on appelle habituellement contrainte dans les milieux hétérogènes, dans un béton ou un sable par exemple, c'est en réalité une contrainte macroscopique définie par une moyenne statistique. Si l'on dit qu'un béton travaille à 100 kg/cm^2 en un point M dans la direction verticale Oz (fig. 1), cela signifie que, si l'on considère, dans la section du béton par le plan horizontal de M, une petite surface S entourant M, la moyenne des contraintes normales s'exerçant sur cette surface est égale à 100 kg/cm^2 .

Cette moyenne ne donne évidemment qu'une connaissance très imparfaite de la loi de répartition très complexe des contraintes autour du point M, répartition qui dépend de la forme et de la disposition mutuelle des cailloux, du rapport du coefficient d'élasticité des cailloux et de celui du mortier, du volume relatif des deux éléments, de la loi du fluage du mortier, etc.

L'objet de cet exposé est une étude de ces contraintes réelles à petite échelle. Le problème est évidemment très complexe. Nous n'avons pas la prétention de l'avoir résolu. Nous avons simplement essayé de l'aborder, à la fois par des méthodes mathématiques et par des moyens expérimentaux. Les résultats d'ordre théorique concernent n'importe quel matériau hétérogène. Au contraire l'étude expérimentale, à l'exception de l'étude du coefficient d'élasticité qui a été faite pour divers matériaux hétérogènes, s'applique seulement au béton.

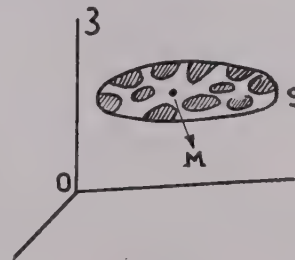


Fig. 1.

RESUMÉ

Une étude théorique permet d'établir par des considérations statistiques des formules donnant les contraintes moyennes au voisinage d'un point quelconque, pour chacun des milieux d'un corps hétérogène (par exemple dans le mortier et dans les cailloux pour un béton). Ces formules peuvent être étendues au cas de variations de température et de retrait.

La relation entre le module d'élasticité d'un corps hétérogène et celui de ses constituants est étudiée théoriquement et expérimentalement.

Par ailleurs, on a mesuré les contraintes réelles à petite échelle dans les cailloux et dans le mortier, sur la face sciée d'un prisme de béton, au moyen de jauges et de vernis photoélastique. Ces mesures ont été répétées sur une face brute de décoffrage. L'écart par rapport aux contraintes macroscopiques est très important.

SUMMARY

A theoretical study permits the establishment, by statistical considerations, of formulas giving the average stresses near any point, for each of the media of an heterogeneous body (e.g. in the mortar and in the gravel stones for a concrete). These formulas may be extended to the case of variations of temperature and of shrinkage.

The relation between the modulus of elasticity of an heterogeneous body and that of its components is studied theoretically and experimentally.

Moreover the actual stresses have been measured at a small scale in the gravel stones and in the mortar, on the sawn face of a concrete prism by means of gauges and photoelastic lacquer. These measurements were repeated on a crude face of concrete. The divergence in relation to the macroscopic stresses is very considerable.

Les thèses et la méthode d'exposition adoptées par les conférenciers et les personnes qui prennent part aux discussions peuvent parfois heurter certains points de vue habituellement admis. Mais il doit être compris que ces thèses et discussions, à l'égard desquelles l'Institut Technique ne saurait prendre parti, ne visent en rien les personnes ni le principe des Institutions.

I. — ÉTUDE THÉORIQUE

Nous étudierons d'abord, en appliquant les équations d'équilibre, les relations de continuité au voisinage de la surface de séparation entre deux milieux, et diverses conséquences de ces relations. Puis, nous appliquerons des méthodes statistiques à l'étude d'un milieu à deux corps formé d'un grand nombre d'éléments.

1° Relations entre contraintes et extensions au voisinage d'une surface de séparation entre deux milieux.

a) Deux dimensions.

Soit Γ la ligne de séparation (fig. 2), $E'v'$ les coefficients de Young et de Poisson du premier milieu, $E''v''$ les coefficients du second.

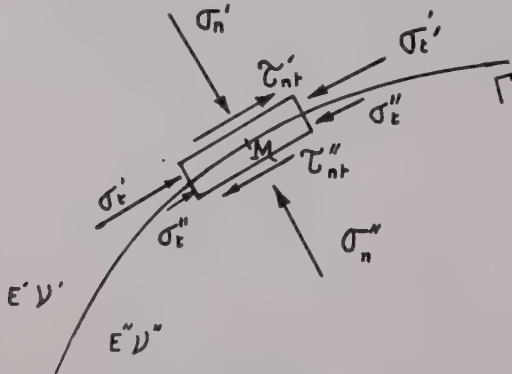


FIG. 2.

Nous prendrons les notations $\sigma_n \sigma_t \tau_{nt}$ utilisées habituellement dans les milieux homogènes pour les contraintes en un point d'un contour, selon la normale et la tangente à ce contour. Soit M un point quelconque du contour et soient $\sigma'_n \sigma'_t \tau'_{nt}$ les contraintes en M dans le premier milieu et $\sigma''_n \sigma''_t \tau''_{nt}$ les contraintes en M dans le deuxième milieu.

De même, soient $\epsilon'_n \epsilon'_t \gamma'_{nt}$ les composantes de l'extension en M dans le premier milieu, $\epsilon''_n \epsilon''_t \gamma''_{nt}$ les valeurs correspondant en M dans le deuxième milieu.

Considérons maintenant un petit rectangle entourant M et dont les côtés sont parallèles à la tangente et à la normale au contour. Supposons la hauteur de ce rectangle (dans le sens de la normale) très petite par rapport à sa largeur. On voit immédiatement en écrivant les conditions d'équilibre de ce rectangle que l'on a :

$$(1) \quad \begin{cases} \sigma'_n = \sigma''_n \\ \tau'_{nt} = \tau''_{nt} \end{cases}$$

Si maintenant nous considérons la déformation de ce rectangle, on voit évidemment que la continuité entre les deux milieux exige que :

$$(2) \quad \epsilon'_t = \epsilon''_t$$

Il y a donc continuité des extensions tangentielles, des contraintes normales et des cisaillements, et en général, il y a discontinuité des contraintes tangentielles, des extensions normales et des distorsions.

$$\begin{aligned} \sigma'_t &\neq \sigma''_t \\ \epsilon'_n &\neq \epsilon''_n \\ \gamma'_{nt} &\neq \gamma''_{nt} \end{aligned}$$

La dernière condition d'inégalité signifie que si $M_1 M_2$ est un élément linéaire traversant Γ (fig. 3), après déformation, l'élément $M'_1 M' M'_2$ fait en général un angle à la traversée de Γ , — ou encore que si l'on trace sur le modèle non contraint une petite circonférence de centre M, après déformation, cette circonférence élémentaire

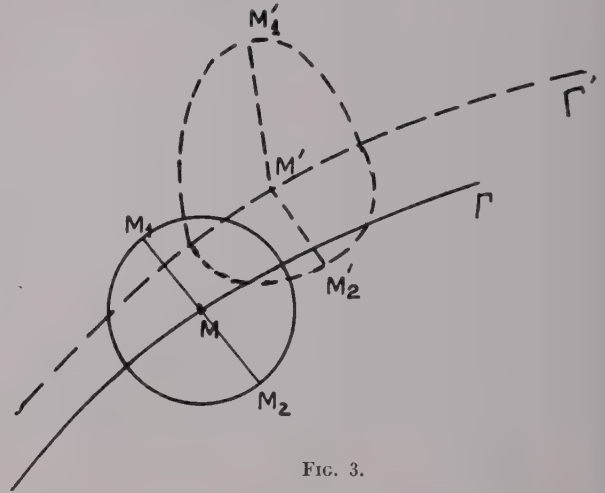


FIG. 3.

sera transformée en deux demi-ellipses qui se raccordent sur la tangente ($\epsilon'_t = \epsilon''_t$), mais dont les axes ne coïncident pas.

Conséquence des formules précédentes.

L'égalité

$$\epsilon'_t = \epsilon''_t$$

peut s'écrire

$$\frac{1}{E'} (\sigma'_t - \nu' \sigma'_n) = \frac{1}{E''} (\sigma''_t - \nu'' \sigma''_n)$$

ou

$$E'' \sigma'_t - E' \sigma''_t = E'' \nu' \sigma'_n - E' \nu'' \sigma''_n$$

Comme par ailleurs

$$\sigma'_n = \sigma''_n$$

on trouve, en remplaçant et en appelant σ_n la valeur commune de σ'_n et σ''_n :

$$(3) \quad E'' \sigma'_t - E' \sigma''_t = \sigma_n (E'' \nu' - E' \nu'')$$

Les équations (1) et (3) permettent de calculer $\sigma''_n \sigma''_t \tau''_{nt}$ en fonction de $\sigma'_n \sigma'_t \tau'_{nt}$ et réciproquement.

D'autre part la relation :

$$\tau'_{nt} = \tau''_{nt}$$

peut s'écrire, en terme d'extensions :

$$\frac{E'}{2(1+\nu')} \gamma'_{nt} = \frac{E''}{2(1+\nu'')} \gamma''_{nt}$$

d'où :

$$\frac{\gamma'_{nt}}{\gamma''_{nt}} = \frac{E''}{E'} \frac{1+\nu'}{1+\nu''}$$

Une deuxième conséquence des égalités fondamentales est une loi de *réfraction des isostatiques*

Considérons une isostatique du premier milieu qui coupe Γ en M et l'isostatique correspondant dans le deuxième milieu (fig. 4). Soient i' et i'' les angles des tangentes des deux isostatiques en M avec la normale au contour.

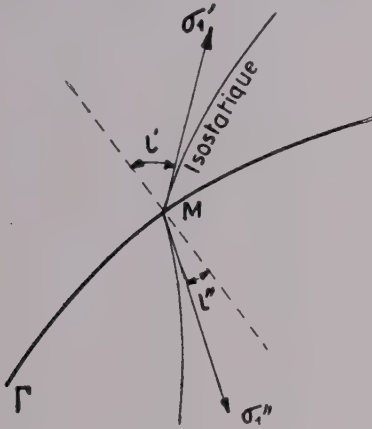


FIG. 4.

L'examen du cercle de Mohr donne immédiatement :

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} 2i' &= \frac{2\tau'_{nt}}{\sigma'_n - \sigma'_t} \\ \operatorname{tg} 2i'' &= \frac{2\tau''_{nt}}{\sigma''_n - \sigma''_t} \end{aligned}$$

Comme on a

$$\tau'_{nt} = \tau''_{nt} \quad \sigma'_n = \sigma''_n$$

il vient :

$$(4) \quad \begin{cases} \operatorname{tg} 2i' = \frac{\sigma_n - \sigma'_t}{\sigma_n - \sigma'_i} \\ \operatorname{tg} 2i'' = \frac{\sigma_n - \sigma''_t}{\sigma_n - \sigma'_i} \end{cases}$$

L'équation (3) permet d'éliminer σ'_t et d'exprimer le rapport $\frac{\operatorname{tg} 2i'}{\operatorname{tg} 2i''}$ en fonction des contraintes dans le premier (ou le deuxième) milieu.

$$(5) \quad \frac{\operatorname{tg} 2i'}{\operatorname{tg} 2i''} = \frac{\sigma_n(1-\nu' + \frac{E''}{E'}\nu') - \frac{E''}{E'}\sigma'_i}{\sigma_n - \sigma'_i}$$

b) Trois dimensions.

Il est facile de généraliser les résultats précédents sur la continuité des contraintes et des extensions au cas de milieux à trois dimensions.

Soit S la surface de séparation, M un point de cette surface que nous supposons rapportée à des coordonnées curvilignes u et v .

L'état de contrainte en M sera définie pour le premier milieu par les 6 valeurs $\sigma'_u, \sigma'_v, \tau'_{uv}, \tau'_{un}, \tau'_{vn}$ et pour le deuxième milieu par les valeurs correspondantes $\sigma''_u, \sigma''_v, \dots$. De

même l'extension en M sera définie par $\epsilon'_u, \epsilon'_v, \epsilon'_n, \gamma'_u, \gamma'_v, \gamma'_{uv}$, pour le premier milieu et $\epsilon''_u, \epsilon''_v, \dots$ pour le deuxième milieu.

Les considérations d'équilibre et de continuité d'un parallépipède élémentaire infiniment plat entourant M nous donnent les six relations suivantes :

$$(6) \quad \begin{cases} \sigma'_n = \sigma''_n \\ \tau'_{un} = \tau''_{un} \\ \tau'_{vn} = \tau''_{vn} \end{cases}$$

$$(7) \quad \begin{cases} \epsilon'_u = \epsilon''_u \\ \epsilon'_v = \epsilon''_v \\ \gamma'_{uv} = \gamma''_{uv} \end{cases}$$

En général on a :

$$\begin{cases} \sigma'_u \neq \sigma''_u \\ \sigma'_v \neq \sigma''_v \\ \tau'_{uv} \neq \tau''_{uv} \\ \epsilon'_n \neq \epsilon''_n \\ \gamma'_{un} \neq \gamma''_{un} \\ \gamma'_{vn} \neq \gamma''_{vn} \end{cases}$$

Soit, en tout, six relations d'égalité et six relations d'inégalité. Comme pour les deux dimensions, on déduit immédiatement de (7) :

$$\begin{aligned} \frac{1}{E'} [\sigma'_u - \nu' (\sigma'_v + \sigma'_n)] &= \frac{1}{E''} [\sigma''_u - \nu'' (\sigma''_v + \sigma''_n)] \\ \frac{1}{E'} [\sigma'_v - \nu' (\sigma'_u + \sigma'_n)] &= \frac{1}{E''} [\sigma''_v - \nu'' (\sigma''_u + \sigma''_n)] \end{aligned}$$

Ou, en appelant σ_n la valeur commune de σ'_n et σ''_n , on a les relations suivantes entre $\sigma'_u, \sigma'_v, \sigma''_u, \sigma''_v$

$$(8) \quad \begin{cases} \frac{1}{E'} [\sigma'_u - \nu' (\sigma'_v + \sigma_n)] = \frac{1}{E''} [\sigma''_u - \nu'' (\sigma''_v + \sigma_n)] \\ \frac{1}{E'} [\sigma'_v - \nu' (\sigma'_u + \sigma_n)] = \frac{1}{E''} [\sigma''_v - \nu'' (\sigma''_u + \sigma_n)] \end{cases}$$

Pour avoir la relation entre τ'_{uv} et τ''_{uv} reprenons la relation de continuité géométrique :

$$\gamma'_{uv} = \gamma''_{uv}$$

et remplaçons en fonction des contraintes. On a :

$$(9) \quad \frac{1}{G'} \tau'_{uv} = \frac{1}{G''} \tau''_{uv}$$

Les équations (6), (8) et (9) permettent de calculer les éléments des contraintes en M dans le deuxième milieu quand ils sont connus dans le premier.

On pourrait également, bien entendu, établir les formules qui donnent la valeur et l'orientation des trois contraintes principales $\sigma'_1, \sigma'_2, \sigma'_3$ en M dans le deuxième milieu, en supposant connue la valeur et l'orientation des contraintes principales $\sigma'_1, \sigma'_2, \sigma'_3$ en M dans le premier milieu.

Remarque.

Les formules de continuité des contraintes et des extensions (formules (1), (2), (6) et (7)), sont valables *même si le matériau a dépassé la limite élastique*, car nous n'avons utilisé pour leur établissement que des conditions d'équilibre et de continuité géométrique indépendantes de toute hypothèse sur la relation entre les contraintes et les déformations.

2° Position du problème de la détermination des contraintes dans un matériau hétérogène.

a) Deux dimensions.

Supposons, pour simplifier, un milieu à deux corps. Soit Γ la limite des deux corps, C le contour extérieur.

Nous supposons, comme dans l'élasticité du corps homogène, que les conditions au contour sont données par la connaissance de σ_n et τ_{nt} le long de C .

Nous avons vu plus haut qu'il y avait continuité des valeurs de σ_n et τ_{nt} d'un milieu à l'autre à la traversée de Γ . Prenons comme inconnue les deux fonctions, $\sigma_n(s)$ et $\tau_{nt}(s)$, définies le long de Γ (s étant la coordonnée curviligne).

Une fois connues ces deux fonctions, on se trouve ramené à un problème habituel d'élasticité. En effet, dans le milieu intérieur à Γ , σ_n et τ_{nt} le long de Γ sont les conditions au contour. Et dans le milieu compris entre C et Γ , σ_n et τ_{nt} sont connus sur le contour intérieur et extérieur. On pourra donc en principe déterminer les contraintes et les déplacements en un point quelconque des deux milieux. En particulier on pourra calculer le déplacement d'un point M quelconque de Γ considéré comme appartenant au premier milieu, ou considéré comme appartenant au second. Soit $\overrightarrow{MM'}$ le premier déplacement, $\overrightarrow{MM''}$ le deuxième (fig. 5). Ces deux vecteurs dépendent de la donnée des deux fonctions inconnues. En exprimant qu'ils sont égaux, c'est-à-dire en écrivant qu'il y a continuité le long de Γ , nous aurons deux équations fonctionnelles où les inconnues seront $\sigma_n(s)$ et $\tau_{nt}(s)$.

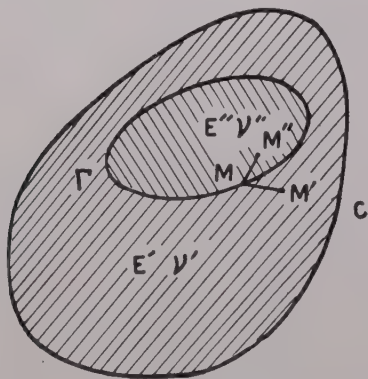


FIG. 5.

Ces deux équations permettront, en général, de déterminer les deux fonctions inconnues.

b) Trois dimensions.

La mise en équation est plus simple que dans le problème à deux dimensions car il n'y a pas à passer par le calcul des déplacements.

Les fonctions inconnues sont les valeurs communes de σ_n , τ_{nu} , τ_{nv} sur la surface Σ de séparation (u et v étant les coordonnées curvilignes sur Σ). De même que dans le problème à deux dimensions, en les supposant connues, on peut (théoriquement) déterminer les contraintes en tout point des deux milieux. Pour exprimer la continuité, au lieu de passer par les déplacements, il suffira d'écrire que les extensions ε_u , ε_v , γ_{uv} sont égales dans les deux milieux en tout point de la

surface de séparation Σ . Ces extensions sont en effet immédiatement déterminées dans chaque milieu en fonction des contraintes.

Nous aurons donc trois équations fonctionnelles permettant de déterminer les trois fonctions inconnues.

Ces trois équations expriment que la variation du ds^2 de la surface Σ est la même qu'elle soit considérée comme appartenant au premier ou au deuxième milieu.

Généralisation.

La généralisation au cas d'un milieu à deux corps avec un nombre de domaines supérieur à deux (fig. 6) est immédiate. Il y a autant de fonctions inconnues que de domaines intérieurs multipliés par 3, et autant d'équations fonctionnelles que de fonctions inconnues.

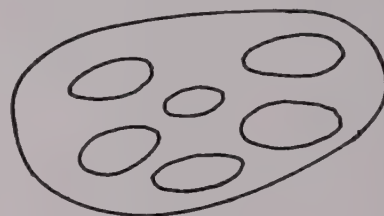


FIG. 6.

3° Application de méthodes statistiques.

La méthode générale que nous venons d'exposer, si elle permet en théorie une résolution complète du problème, n'est en réalité applicable pratiquement que dans des cas extrêmement simples, et par conséquent d'un intérêt pratique très limité. Aussi avons-nous essayé d'aborder la question par une méthode toute différente. Cette méthode n'a pas la prétention de déterminer les contraintes réelles en chaque point mais de permettre le calcul des valeurs moyennes des contraintes et des extensions au voisinage d'un point, dans chacun des deux milieux, connaissant seulement les caractéristiques mécaniques de ceux-ci et le rapport des volumes qu'ils occupent.

La méthode s'applique à des milieux à deux corps formés de nombreux grains du premier corps, de forme et de dimensions quelconques, noyés dans le deuxième corps. Le rapport volumétrique entre les deux corps est quelconque. On suppose seulement le milieu statistiquement homogène et isotrope (cette notion sera précisée un peu plus loin).

Nous définirons d'abord, l'homogénéité et l'isotropie statistiques et nous préciserons les notions de contrainte et d'extension statistiques partielles, et celle du module d'Young et du coefficient de Poisson du milieu hétérogène. Puis nous établirons les formules permettant de calculer les contraintes statistiques partielles en un point quelconque, avec application à quelques cas simples.

a) Définition de l'homogénéité et de l'isotropie statistiques.

Considérons un matériau hétérogène à deux corps formé d'un grand nombre de grains du premier corps noyés dans le second. Soit V un volume partiel du matériau, supposé grand par rapport à la dimension des grains et V' le volume occupé par le premier corps à l'intérieur de V . Nous dirons que le matériau est statistiquement homogène si le rapport $c = \frac{V'}{V}$ est indépendant du choix de V .

Considérons maintenant un élément linéaire MM' de longueur l à l'intérieur du milieu, l étant supposé grand par rapport aux dimensions des grains. Soit n le nombre des grains coupés par MM' . Si le rapport $\frac{n}{l}$ est indépendant de l'orientation de l'élément MM' , nous dirons que le matériau est *statistiquement isotrope*.

Par exemple, un matériau formé de grains plats sensiblement orientés horizontalement (V. fig. 7) n'est pas statistiquement isotrope. De même un matériau dont les grains seraient des billes identiques empilées suivant la loi du « tas de boulets ».



FIG. 7.

b) Définition des contraintes statistiques.

Soit M un point du milieu, S un élément plan parallèle entourant M et parallèle au plan xy . Nous supposons S grand par rapport aux grains et petit par rapport à l'ensemble du milieu. En chaque point de S s'exerce une contrainte normale σ_z et des cisaillements τ_{xz} et τ_{yz} qui diffèrent suivant le point choisi (fig. 8).

Nous appellerons contrainte statistique en M sur l'élément S les valeurs

$$n_z = \frac{\iint_S \sigma_z dS}{S}$$

$$t_{xz} = \frac{\iint_S \tau_{xz} dS}{S}$$

$$t_{yz} = \frac{\iint_S \tau_{yz} dS}{S}$$

Dans cette étude nous réserverons les notations n et t aux contraintes statistiques et les notations σ et τ aux contraintes réelles.

Cette définition s'applique évidemment au cas où S a une orientation quelconque. On définirait donc ainsi n_y , n_z , t_{xy} ainsi que les contraintes sur un élément plan quelconque.

Remarquons qu'au lieu de prendre une petite surface S entourant M , nous aurions pu prendre un petit volume V et écrire

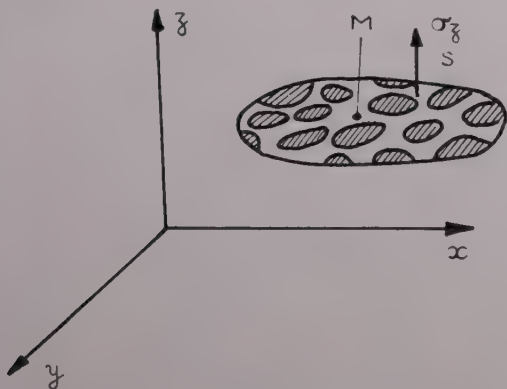


FIG. 8.

$$n_z = \frac{\iiint_V \sigma_z dV}{V}$$

et des formules analogues pour n_x , n_y , t_{xy} , t_{yz} , t_{zx} .

On passe évidemment de l'une à l'autre définition par intégration.

Il est facile de démontrer en considérant l'équilibre d'un trièdre trirectangle élémentaire que les contraintes statistiques satisfont la même répartition tensorielle que les contraintes ordinaires. Il y aura donc en chaque point un tenseur n et trois contraintes statistiques principales n_1 , n_2 , n_3 . De même, en écrivant l'équilibre d'un parallélépipède élémentaire, on démontrerait que les contraintes statistiques satisfont aux mêmes relations d'équilibre que les contraintes ordinaires.

Par conséquent, si l'on considère un corps hétérogène C soumis à des forces extérieures et des forces massiques quelconques, on pourra calculer l'état de contrainte statistique en un point quelconque M du corps C en supposant celui-ci homogène et en appliquant les équations habituelles de l'élasticité.

c) Définition des extensions statistiques.

Soit M_1M_2 un élément linéaire parallèle à l'axe des z et entourant M , l'élément étant petit par rapport à l'ensemble du corps et grand par rapport aux grains. On définira l'extension statistique e_z par la formule :

$$e_z = \frac{\Delta(M_1M_2)}{M_1M_2}$$

L'extension statistique e_z peut également être définie comme la moyenne de l'extension ε_z le long de M_1M_2 :

$$e_z = \frac{\int_{M_1}^{M_2} \varepsilon_z dz}{M_1M_2}$$

Il y a, bien entendu, coïncidence entre les deux e_z ainsi définis.

On définirait de même e_x , e_y , e_{xy} , e_{yz} , e_{zx} , ainsi que les extensions statistiques principales e_1 , e_2 , e_3 , et le tenseur e .

Nous utiliserons dans toute cette étude les notations e et g pour les extensions statistiques et les notations ε et γ pour les extensions réelles.

De même que pour les contraintes statistiques, on peut, en intégrant, donner une définition de e_z comme moyenne dans un petit volume V .

$$e_z = \frac{\iiint_V \varepsilon_z dV}{V}$$

et formules analogues pour e_x , e_y , g_{xy} , ...

Les contraintes et les extensions statistiques sont définies en chaque point du milieu et varient en général d'un point à un autre.

d) Définition du module d'Young et du coefficient de Poisson d'un milieu hétérogène.

Soit E' , ν' le coefficient de Young et de Poisson du premier milieu, E'' , ν'' ceux du deuxième milieu.

Nous définirons ainsi les coefficients E et ν du matériau hétérogène : soit un prisme découpé dans le matériau et soumis sur ses faces opposées à des contraintes normales uniformément réparties n_x . On a :

$$E = \frac{n_x}{e_x}$$

$$\nu = - \frac{e_y}{e_x} = - \frac{e_y}{e_z}$$

On pourrait bien entendu au lieu de considérer une contrainte normale uniformément répartie, supposer une déformation imposée (cas d'un prisme de béton pressé entre deux plateaux d'une presse rigoureusement parallèles et infiniment rigides).

Si AB et CD sont les deux faces pressées, et $M_1 M_2$ une droite verticale quelconque comprise entre les deux faces (fig. 9), dans le premier cas (charge uniformément répartie) $\frac{\Delta(M_1 M_2)}{M_1 M_2}$ subit de légères variations suivant le choix de M_1 sur la surface AB et dans le second cas (déformation imposée) c'est n_x qui subit des variations suivant le choix de M_1 .



FIG. 9.

e) Définition des contraintes et des extensions statistiques relatives à chacun des deux milieux.

Les contraintes statistiques n et t ont été précédemment définies comme des moyennes des contraintes réelles σ et τ , soit dans une petite surface S , soit dans un petit volume V . De même les extensions statistiques e et g à partir des extensions réelles ϵ et γ .

Soient S' et S'' les surfaces partielles occupées à l'intérieur de S par les deux milieux, et de même V' et V'' les volumes partiels à l'intérieur de V . On voit immédiatement par simple intégration que l'on a :

$$\frac{V'}{V} = \frac{S'}{S} = c.$$

On définira les contraintes statistiques dans chacun des deux milieux en un point M de la même manière que les contraintes statistiques dans le matériau hétérogène en ce point. On aura par exemple :

$$n'_x = \frac{\iiint_{V'} \sigma_x dV'}{V'}$$

$$n''_x = \frac{\iiint_{V''} \sigma_x dV''}{V''}$$

et des formules analogues pour $n'_y, n'_z, t'_{xy}, t'_{yz}, t'_{zx}, n''_y, n''_z, \dots$

Par exemple, quand un béton travaille en un point d'un massif, à 100 kg/cm^2 dans la direction Oz , n'_x indiquera la contrainte moyenne dans les cailloux, au même

point, soit par exemple 140 kg/cm^2 et n''_x la contrainte moyenne dans le mortier, soit par exemple 75 kg/cm^2 .

La connaissance de ces contraintes statistiques partielles donne donc une première idée de l'hétérogénéité des contraintes dans le milieu.

De même que les contraintes n , elles sont définies en chaque point et ont une structure tensorielle.

Bien entendu, on définirait exactement de même les extensions statistiques partielles telles que :

$$e'_x = \frac{\iiint_{V'} \epsilon_x dV'}{V'}$$

$$e''_x = \frac{\iiint_{V''} \epsilon_x dV''}{V''}$$

f) Calcul des contraintes et des extensions moyennes dans chaque milieu en fonction des contraintes ou extensions statistiques dans le corps hétérogène.

Nous étudierons deux problèmes :

1° Les contraintes statistiques n_x, n_y, \dots sont connues en un point et l'on veut en déduire les contraintes statistiques partielles $n'_x, n'_y, \dots; n''_x, n''_y, \dots$ au même point.

2° Le milieu hétérogène n'est pas soumis à des contraintes extérieures mais il est soumis à des contraintes internes par suite d'un retrait d'un des milieux, ou d'une élévation de température avec coefficient de dilatation différent dans les deux milieux. On désire connaître les contraintes n' et n'' qui en résultent dans les deux milieux.

Premier problème.

Soit un solide hétérogène à deux corps, statistiquement isotrope, mais non nécessairement statistiquement homogène. Soit M un point de ce solide et $n_x, n_y, n_z, t_{xy}, t_{yz}, t_{zx}$ les six composantes du tenseur \bar{n} des contraintes statistiques en M . De même soient $e_x, e_y, e_z, \gamma_{xy}, \gamma_{yz}, \gamma_{zx}$ les six composantes du tenseur e de l'extension en M .

Si l'on considère comme précédemment un élément de volume V entourant M , et les volumes partiels V' et V'' , on a évidemment

$$\iiint_V \sigma_x dV = \iiint_{V'} \sigma_x dV' + \iiint_{V''} \sigma_x dV''$$

ou

$$\frac{1}{V} \iiint_V \sigma_x dV = \frac{V'}{V} \frac{1}{V'} \iiint_{V'} \sigma_x dV' + \frac{V''}{V} \frac{1}{V''} \iiint_{V''} \sigma_x dV''$$

Ou encore, en se reportant aux définitions de n, n', n'' :

$$(10) \quad n_x = c n'_x + (1 - c) n''_x$$

et cinq formules analogues pour $n_y, n_z, t_{xy}, t_{yz}, t_{zx}$, les six formules pouvant être résumées par la formule tensorielle suivante :

$$(11) \quad \bar{n} = c \bar{n}' + (1 - c) \bar{n}''$$

Le même raisonnement avec les e et les g donne

$$(12) \quad e_x = c e'_x + (1 - c) e''_x$$

et cinq équations analogues pour $e_y, e_z, g_{xy}, g_{yz}, g_{zx}$, ou, en langage tensoriel :

$$(13) \quad \bar{e} = c \bar{e}' + (1 - c) \bar{e}''.$$

Transformons maintenant les relations entre les extensions en introduisant les contraintes. On a, dans le premier milieu :

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E'} [\sigma_x - \nu' (\sigma_y + \sigma_z)]$$

et dans le deuxième milieu

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E''} [\sigma_x - \nu'' (\sigma_y + \sigma_z)].$$

D'où en passant à la moyenne dans chaque milieu

$$e'_x = \frac{1}{E'} [n'_x - \nu' (n'_y + n'_z)]$$

$$e''_x = \frac{1}{E''} [n''_x - \nu'' (n''_y + n''_z)].$$

D'autre part, en se reportant à la définition des coefficients E et ν , on a également :

$$e_x = \frac{1}{E} [n_x - \nu (n_y + n_z)].$$

L'équation (12) peut donc s'écrire :

$$(14) \quad \frac{1}{E} [n_x - \nu (n_y + n_z)] = \frac{c}{E'} [n'_x - \nu' (n'_y + n'_z)] + \frac{1-c}{E''} [n''_x - \nu'' (n''_y + n''_z)]$$

ainsi que deux équations analogues par permutation des x, y, z .

De même, la formule contenant les g :

$$g_{xy} = c g'_{xy} + (1 - c) g''_{xy}$$

devient, en transformant en termes de contraintes :

$$(15) \quad \frac{1}{G} t_{xy} = \frac{c}{G'} t'_{xy} + \frac{1-c}{G''} t''_{xy}$$

et deux formules analogues pour t_{xz} et t_{yz} .

Les relations (10), (14) et (15) forment un système de douze équations linéaires d'où nous pouvons calculer les douze inconnues $n'_x, n'_y, \dots, n''_x, n''_y, \dots$. Considérons les six premières qui ne contiennent pas les cisaillements :

$$n_x = c n'_x + (1 - c) n''_x$$

$$n_y = c n'_y + (1 - c) n''_y$$

$$n_z = c n'_z + (1 - c) n''_z$$

$$\frac{1}{E} [n_x - \nu (n_y + n_z)] = \frac{c}{E'} [n'_x - \nu' (n'_y + n'_z)] + \frac{1-c}{E''} [n''_x - \nu'' (n''_y + n''_z)]$$

$$\frac{1}{E} [n_y - \nu (n_x + n_z)] = \frac{c}{E'} [n'_y - \nu' (n'_x + n'_z)] + \frac{1-c}{E''} [n''_y - \nu'' (n''_x + n''_z)]$$

$$\frac{1}{E} [n_z - \nu (n_x + n_y)] = \frac{c}{E'} [n'_z - \nu' (n'_x + n'_y)] + \frac{1-c}{E''} [n''_z - \nu'' (n''_x + n''_y)].$$

On en tire sans difficulté les formules suivantes qui donnent les n' et les n'' en fonction des n :

$$\begin{cases} n'_x = K'_1 (n_y + n_z) + K'_2 n_x \\ n'_y = K'_1 (n_x + n_z) + K'_2 n_y \\ n'_z = K'_1 (n_x + n_y) + K'_2 n_z \end{cases}$$

(16)

$$\begin{cases} n''_x = K''_1 (n_y + n_z) + K''_2 n_x \\ n''_y = K''_1 (n_x + n_z) + K''_2 n_y \\ n''_z = K''_1 (n_x + n_y) + K''_2 n_z \end{cases}$$

K'_1, K'_2, K''_1, K''_2 étant des constantes dépendant de $E, E', E'', \nu, \nu', \nu''$:

$$K'_1 = \frac{E'}{E} \frac{1}{c} \frac{E'' [E'' (\nu' - \nu) + E (\nu'' - \nu')] + E' (\nu - \nu'')}{D}$$

$$K'_2 = \frac{E'}{E} \frac{1}{c} \frac{E''^2 [1 - \nu' - 2\nu \nu'] - EE'' [1 - \nu' - 2\nu' \nu'']}{D}$$

$$K''_1 = \frac{E''}{E} \frac{1}{1-c} \frac{E' [E' (\nu'' - \nu) + E (\nu' - \nu'')] + E'' (\nu - \nu')}{D}$$

$$K''_2 = \frac{E''}{E} \frac{1}{1-c} \frac{E'^2 [1 - \nu'' - 2\nu \nu''] - EE' [1 - \nu'' - 2\nu' \nu'']}{D}$$

$$\text{avec } D = E''^2 [1 - \nu' - 2\nu'^2] - E'E'' [2 - \nu' - \nu'' - 4\nu \nu''] + E'^2 [1 - \nu'' - 2\nu''^2]$$

Considérons maintenant les six équations :

$$\begin{aligned} t_{xy} &= c t'_{xy} + (1 - c) t''_{xy} \\ t_{yz} &= c t'_{yz} + (1 - c) t''_{yz} \\ t_{zx} &= c t'_{zx} + (1 - c) t''_{zx} \\ \frac{1+\nu}{E} t_{xy} &= c \frac{1+\nu'}{E'} t'_{xy} + (1-c) \frac{1+\nu''}{E''} t''_{xy} \\ \frac{1+\nu}{E} t_{yz} &= c \frac{1+\nu'}{E'} t'_{yz} + (1-c) \frac{1+\nu''}{E''} t''_{yz} \\ \frac{1+\nu}{E} t_{zx} &= c \frac{1+\nu'}{E'} t'_{zx} + (1-c) \frac{1+\nu''}{E''} t''_{zx} \end{aligned}$$

On en tire

$$(17) \quad \begin{cases} t'_{xy} = K' t_{xy} & t'_{yz} = K' t_{yz} & t'_{zx} = K' t_{zx} \\ t''_{xy} = K'' t_{xy} & t''_{yz} = K'' t_{yz} & t''_{zx} = K'' t_{zx} \end{cases}$$

Avec :

$$K' = \frac{1}{c} \frac{E'}{E} \frac{E'' (1 + \nu) - E (1 + \nu'')}{E'' (1 + \nu') - E' (1 + \nu')}$$

$$K'' = \frac{1}{1-c} \frac{E''}{E} \frac{E' (1 + \nu) - E (1 + \nu')}{E' (1 + \nu') - E'' (1 + \nu'')}$$

Domaines de validité des formules précédentes. — Ces formules supposent : 1° que l'on est dans le domaine élastique; 2° que le milieu est statistiquement isotrope. Si le milieu est statistiquement anisotrope, le coefficient d'élasticité E n'est pas le même dans toutes les direc-

tions et les raisonnements précédents ne sont pas applicables. Par contre il n'est pas nécessaire que le milieu soit statistiquement homogène.

Sous ces réserves les formules sont absolument générales. Les contraintes statistiques partielles dans les deux milieux peuvent donc être calculées rigoureusement si on connaît E' , ν' , E'' , ν'' , E , ν et c , c'est-à-dire des valeurs mesurables.

Il paraît étonnant que ces formules soient *indépendantes de la forme et de la disposition mutuelle des grains* et dépendent seulement de c . En réalité ces formules contiennent E et ν et il est très probable que E et ν dépendent non seulement de E' , ν' , E'' , ν'' et c mais aussi de la forme des grains. Nous reviendrons plus loin sur cette importante question.

Examinons maintenant deux cas particuliers importants :

Premier cas particulier.

$n_z \neq 0$ et les cinq autres composantes (n_x , n_y ...) nulles.

C'est le cas par exemple d'un prisme de béton soumis sur ses faces extrêmes à une contrainte normale uniforme.

On trouve immédiatement :

$$(18) \quad \begin{cases} n'_z = K'_2 n_z \\ n'_x = n'_y = K'_1 n_z \\ n''_z = K''_2 n_z \\ n''_x = n''_y = K''_1 n_z \end{cases}$$

Deuxième cas particulier.

$$\begin{aligned} n_x = n_y = n_z = n \\ t_{xy} = t_{yz} = t_{zx} = 0. \end{aligned}$$

Par exemple dans un solide soumis à une pression extérieure normale et constante, tous les points du solide répondront aux conditions précédentes.

Les douze équations se réduisent à deux :

$$\begin{cases} n = c n' + (1 - c) n'' \\ \frac{1 - 2\nu}{E} n = \frac{1 - 2\nu'}{E'} n' + \frac{1 - 2\nu''}{E''} n'' \end{cases}$$

D'où :

$$(19) \quad n' = K'_3 n \quad n'' = K''_3 n.$$

Avec :

$$\begin{aligned} K'_3 &= \frac{1}{c} \frac{E'}{E} \frac{E(1 - 2\nu'') - E''(1 - 2\nu)}{E'(1 - 2\nu'') - E''(1 - 2\nu)} \\ K''_3 &= \frac{1}{1 - c} \frac{E''}{E} \frac{E(1 - 2\nu') - E'(1 - 2\nu)}{E'(1 - 2\nu') - E''(1 - 2\nu)} \end{aligned}$$

Cas où $\nu' = \nu'' = \nu$.

Dans ce cas les formules (16) et (17) se simplifient considérablement.

Elles deviennent :

$$\begin{cases} n'_z = A' n_x & n''_z = A'' n_x \\ \dots\dots\dots & \dots\dots\dots \\ t'_{xy} = A' t_{xy} & t''_{xy} = A'' t_{xy} \\ \dots\dots\dots & \dots\dots\dots \end{cases}$$

ou en langage tensoriel :

$$(20) \quad \begin{cases} n' = A' n \\ \bar{n} = A'' \bar{n} \end{cases}$$

avec

$$(21) \quad \begin{cases} A' = \frac{E'}{E} \frac{1}{c} \frac{E'' - E}{E'' - E'} \\ A'' = \frac{E''}{E} \frac{1}{1 - c} \frac{E - E'}{E'' - E'} \end{cases}$$

Par ailleurs on déduit aisément de (20) :

$$\begin{aligned} \bar{e}' &= A' \frac{E}{E'} e \\ e'' &= A'' \frac{E}{E''} e. \end{aligned}$$

Quand les coefficients de Poisson sont différents, il s'introduit, comme nous l'avons vu plus haut dans les formules générales, des termes supplémentaires, mais ceux-ci ont un caractère de termes correctifs, sauf si ν' et ν'' sont très différents ainsi que nous allons le voir dans l'exemple numérique suivant.

Application numérique.

Prenons le béton expérimental que nous avons utilisé pour nos mesures; on avait :

$$\begin{aligned} E' \text{ (cailloux)} &= 11\,100 \text{ kg/mm}^2 \\ E'' \text{ (mortier)} &= 2\,660 \text{ —} \\ E \text{ (béton)} &= 4\,450 \text{ —} \\ c &= 0,62 \end{aligned}$$

Les coefficients de Poisson n'avaient pas été mesurés. Admettons d'abord qu'ils sont tous égaux. Ils n'interviennent pas alors dans les formules, ainsi que nous venons de le voir. On trouve, pour une compression $n_z = 100 \text{ kg/cm}^2$:

$$\begin{aligned} n'_z &= 85 \text{ kg/cm}^2 \\ n''_z &= 124 \text{ kg/cm}^2 \\ n'_x = n'_y &= 0 \\ n''_x = n''_y &= 0. \end{aligned}$$

Supposons maintenant que les coefficients de Poisson soient très différents et admettons les valeurs suivantes :

$$\begin{aligned} \nu' &= 0,15 \\ \nu'' &= 0,30 \end{aligned}$$

admettons pour ν la valeur donnée par la loi des mélanges

$$\nu = c \nu' + (1 - c) \nu'' = 0,21.$$

Il vient alors :

$$\begin{aligned} n'_x &= 75 \text{ kg/cm}^2 \\ n''_x &= 141 \text{ kg/cm}^2 \\ n'_y &= n'_z = -17 \text{ kg/cm}^2 \\ n''_y &= n''_z = 29 \text{ kg/cm}^2. \end{aligned}$$

La différence par rapport aux chiffres précédents est de 12 et 14 % pour n'_x et n''_x . Elle est relativement faible, étant donné le gros écart entre v' et v'' . Par contre, il s'introduit des contraintes moyennes importantes dans le plan de xy .

Deuxième problème.

Soit un solide hétérogène à deux corps A et B, que nous supposons statistiquement homogène et isotrope. Nous étudierons le cas où les milieux A et B subissent une action physique telle que variation thermique ou retrait et nous calculerons les contraintes statistiques qui en résultent dans chaque milieu.

Le problème que nous nous proposons est entièrement différent du problème classique que connaissent bien les ingénieurs et qui consiste à calculer les contraintes dans un ouvrage hyperstatique en béton armé, tel que, par exemple, un arc encastré, sous l'effet de la température et du retrait. Dans ce cas, on ne calcule que les contraintes macroscopiques, et le calcul serait exactement le même si le béton était un corps parfaitement homogène. Elles résultent d'efforts extérieurs (réactions d'appui) appliquées au solide.

Au contraire, ce que nous nous proposons de calculer, ce sont les contraintes internes dans les cailloux et le mortier résultant de la température ou du retrait, en l'absence de toute force extérieure de quelque nature qu'elle soit (charge ou réaction hyperstatiques d'appui). Ce sont en quelque sorte des *précontraintes* qui viennent s'ajouter aux contraintes résultant des efforts extérieurs.

Considérons l'effet de la température. Le cas du retrait se ramène sans difficulté à celui de la température puisqu'il correspond au cas où l'un des coefficients de dilatation est nul. Soient α' et α'' les coefficients de dilatation des deux milieux, α le coefficient de dilatation du corps hétérogène. Soient θ_0 la température initiale, θ_1 la température finale, avec $\theta = \theta_1 - \theta_0$. Il est évident que si $\alpha' = \alpha''$, il n'y aura pas de contraintes internes résultant de la température. Nous supposons donc $\alpha' \neq \alpha''$.

Si le premier milieu existait seul, il prendrait une extension uniforme $\alpha'\theta$ et il n'y aurait pas de contraintes. De même, le deuxième milieu, s'il existait seul, prendrait une extension uniforme $\alpha''\theta$ sans contrainte. En raison de la coexistence des deux milieux, chacun d'eux gêne l'expansion de l'autre, d'où l'apparition des contraintes.

Le milieu hétérogène prendra une extension e qui sera la même dans toutes les directions par suite de l'isotropie, et chacun des deux milieux prendra une extension *moyenne*, e' pour A et e'' pour B, qui elle aussi sera la même dans toutes les directions. Nous nous proposons de calculer e' et e'' par des raisonnements analogues à ceux que nous avons utilisés précédemment.

Nous poserons $e = \alpha\theta$ (α coefficient de dilatation du milieu hétérogène).

Soient $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ les contraintes normales en un point quelconque, $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z$ les extensions. Les contraintes seraient nulles dans le premier milieu si les ε étaient égaux à $\alpha'\theta$, et nulles dans le deuxième milieu si les ε

étaient égaux à $\alpha''\theta$. Ce sont donc les différences entre les ε et les dilatations $\alpha'\theta$ ou $\alpha''\theta$ qui interviennent dans les formules déterminant les contraintes. Ces formules sont les suivantes :

Pour le premier milieu :

$$(22) \quad \begin{cases} \varepsilon_x - \alpha'\theta = \frac{1}{E'} [\sigma_x - \nu' (\sigma_y + \sigma_z)] \\ \varepsilon_y - \alpha'\theta = \frac{1}{E'} [\sigma_y - \nu' (\sigma_x + \sigma_z)] \\ \varepsilon_z - \alpha'\theta = \frac{1}{E'} [\sigma_z - \nu' (\sigma_x + \sigma_y)] \end{cases}$$

et des formules analogues pour le deuxième milieu.

Passons maintenant aux moyennes. Remarquons d'abord qu'en raison de l'isotropie et de l'homogénéité statistique, on a évidemment :

$$\begin{cases} n'_x = n'_y = n'_z = n' \\ t'_{xy} = t'_{yz} = t'_{zx} = 0 \\ e'_x = e'_y = e'_z = e' \\ g'_{xy} = g'_{yz} = g'_{zx} = 0 \end{cases}$$

et formules analogues pour les n'' et e'' .

D'autre part, on a :

$$\begin{aligned} e_x &= e_y = e_z = e = \alpha\theta \\ g_{xy} &= g_{yz} = g_{zx} = 0. \end{aligned}$$

Par ailleurs, par suite de l'absence des forces extérieures :

$$n_x = n_y = n_z = t_{xy} = t_{yz} = t_{zx} = 0.$$

Les relations entre n' et e' , n'' et e'' s'obtiennent immédiatement en partant des formules (22) et en passant aux moyennes. On a

$$(23) \quad \begin{cases} n' = \frac{E'}{1 - 2\nu'} (e' - \alpha'\theta) \\ n'' = \frac{E''}{1 - 2\nu''} (e'' - \alpha''\theta) \end{cases}$$

Reprenons maintenant les équations générales obtenues dans le premier problème :

$$\begin{cases} \bar{n} = c n' + (1 - c) n'' \\ \bar{e} = c e' + (1 - c) e'' \end{cases}$$

qui deviennent dans ce cas particulier

$$\begin{cases} 0 = c n' + (1 - c) n'' \\ e = c e' + (1 - c) e'' \end{cases}$$

ou, en remplaçant n' et n'' par leurs valeurs tirées des équations (23) :

$$\begin{cases} c \frac{E'}{1 - 2\nu'} (e' - \alpha'\theta) + (1 - c) \frac{E''}{1 - 2\nu''} (e'' - \alpha''\theta) = 0 \\ e = c e' + (1 - c) e'' \end{cases}$$

En remplaçant e par $\alpha\theta$, on tire sans difficulté les valeurs suivantes de e' et e'' :

$$e' = \frac{\theta}{c} \times \frac{c[E''(1 - 2\nu')\alpha'' - E'(1 - 2\nu'')\alpha'] + E''(1 - 2\nu'')(\alpha - \alpha'')}{E''(1 - 2\nu') - E'(1 - 2\nu'')}$$

$$e'' = \frac{\theta}{1-c} >$$

$$(1-c) [E''(1-2\nu')\alpha'' - E'(1-2\nu'')\alpha'] - E'(1-2\nu'')(\alpha - \alpha')$$

$$E''(1-2\nu') - E'(1-2\nu'')$$

et

$$n' = \frac{E'E''}{E''(1-2\nu') - E'(1-2\nu'')} \frac{\alpha - [c\alpha' + (1-c)\alpha'']}{c} \theta$$

$$n'' = \frac{E'E''}{E''(1-2\nu') - E'(1-2\nu'')} \frac{\alpha - [c\alpha' + (1-c)\alpha'']}{1-c} \theta$$

Ces formules ne contiennent pas E . Mais, par contre, elles font intervenir α coefficient de dilatation du milieu hétérogène, qui est accessible à l'expérience.

Cas du retrait.

Soit r'' le retrait du « mortier » et r celui du « béton », étant entendu que le raisonnement s'applique à n'importe quel milieu à deux corps. On est ramené au cas de la température, en posant :

$$\alpha' = 0$$

$$\alpha''\theta = r''$$

$$\alpha\theta = r.$$

Les formules deviennent

$$\left\{ \begin{aligned} e' &= \frac{1}{cD'} E''(1-2\nu') [r - (1-c)r''] \\ e'' &= r'' - \frac{1}{(1-c)D'} E'(1-2\nu'') [r - (1-c)r''] \end{aligned} \right.$$

II. — RELATION ENTRE E E' E'' .

Les formules (11), (13), (14) et (16), qui donnent les n' , n'' , e' et e'' sont d'un caractère absolument général et ne reposent sur aucune hypothèse arbitraire. Ces formules supposent connus expérimentalement, non seulement E' , ν' , E'' , ν'' et c mais aussi E et ν . Nous allons examiner dans ce chapitre si E et ν peuvent être déterminés par des relations du type :

$$E = f(E', E'', \nu', \nu'', c)$$

$$\nu = g(E', E'', \nu', \nu'', c)$$

indépendantes de la forme des éléments.

Certains expérimentateurs ont cru découvrir une telle loi, qui nous paraît contestable à la fois pour des raisons théoriques et expérimentales.

1° Considérations théoriques.

Pour calculer le coefficient E d'un milieu hétérogène déterminé, il faudrait, soit faire le calcul complet permettant de déterminer les contraintes en chaque point, soit appliquer des méthodes d'énergie. La première méthode serait probablement possible pour un milieu de définition géométrique très simple, tel que, par exemple, un milieu indéfini contenant des sphères égales dont les centres seraient situés aux mailles d'un quadrillage tridimensionnel. Un tel milieu ne serait pas

$$n' = k \frac{r - (1-c)r''}{c}$$

$$n'' = -k \frac{r - (1-c)r''}{1-c}$$

avec

$$D' = E''(1-2\nu') - E'(1-2\nu'')$$

$$k = \frac{E'E''}{E''(1-2\nu') - E'(1-2\nu'')}$$

Il est facile de mesurer les coefficients r' et r'' du retrait dans le mortier et dans le béton et de porter ces valeurs dans les formules des contraintes moyennes ce qui donne des valeurs très élevées. En réalité cette application des formules n'est pas ici valable car les formules supposent que pendant la durée du retrait, le coefficient d'élasticité du mortier a une valeur fixe E'' , ce qui est très loin d'être le cas puisque le mortier, d'abord pâteux, durcit progressivement. Pendant les premiers jours de la vie d'un béton de ciment Portland, le retrait est important mais le mortier, encore très peu résistant, s'adapte aux tensions ainsi développées. Ce n'est qu'ensuite, une fois le mortier devenu rigide, que se développent des contraintes importantes avec une adaptation moindre.

Nos formules sont donc valables seulement pendant la période où le coefficient d'élasticité E'' du mortier est sensiblement constant et avec la réserve que l'adaptation, toujours importante dans les bétons pour les phénomènes de longue durée, contribue sans doute à diminuer les contraintes internes; au contraire, dans le cas de l'effet d'une variation de température, le phénomène étant en général rapide, l'adaptation est beaucoup plus faible et il est très vraisemblable que les formules que nous avons données plus haut correspondent à la réalité.

statistiquement isotrope et ne comporterait pas de contacts entre les éléments. Il différerait donc fortement d'un milieu hétérogène tel qu'un béton ou un alliage métallique, mais cependant son étude apporterait d'utiles indications.

Prenons un exemple beaucoup plus grossier, mais très facilement accessible au calcul : celui d'un milieu indéfini stratifié formé de couches planes alternées, l'épaisseur des couches du premier milieu étant h' et celle du deuxième milieu h'' (fig. 10). On a évidemment :

$$c = \frac{h'}{h' + h''}$$

Supposons d'abord $\nu' = \nu'' = 0$.

On voit immédiatement que :

a) Si le milieu est soumis à un champ de contraintes uniformes n_x perpendiculaire aux surfaces de séparation des deux milieux, la déformation se fait à contraintes constantes ($n = n' = n''$), et l'on a :

$$\frac{1}{E} = c \frac{1}{E'} + (1-c) \frac{1}{E''}.$$

b) Si le milieu est soumis à un champ de contraintes uniformes parallèle aux surfaces de séparation, la déformation se fait à extension constante, et l'on a :

$$E = c E' + (1-c) E''.$$

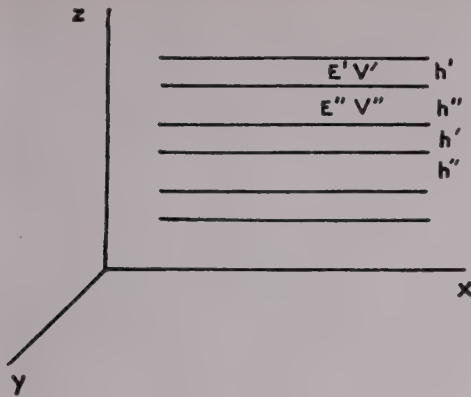


FIG. 10.

Si v' et v'' sont différents de 0, on a des formules différentes et plus compliquées. Par exemple, pour un champ vertical n_z on trouve facilement :

$$\frac{1}{E} = \frac{c}{E'}$$

$$\frac{(1-c)E''(1-v'-2v'^2) + cE'(1-v''-2v''^2) + 2E'v'v''}{(1-c)E''(1-v') + cE'(1-v'')} - \frac{1-c}{E'}$$

$$\frac{(1-c)E''(1-v'-2v'v'') + cE'(1-v''-2v''^2) + 2E'v'v''}{(1-c)E''(1-v') + cE'(1-v'')}$$

Mais bien entendu, ces résultats, relatifs à un milieu statistiquement anisotrope, n'ont qu'une valeur d'indication et ne sont pas applicables au cas qui nous intéresse, qui est celui des milieux statistiquement isotropes et homogènes.

Des méthodes faisant appel à des calculs d'énergie ont été appliquées tout récemment par Hashin (Bulletin of the Research Council of Israel Déc. 55) au cas d'un milieu hétérogène à deux corps, dont les « cailloux » étaient constitués par des sphères très petites, infiniment rigides, et telles que leur densité volumétrique soit très faible (et que, par conséquent, leur distance mutuelle soit grande par rapport à leurs rayons). Hashin avait appliqué à des milieux solides, la méthode utilisée par Einstein pour l'étude de fluides visqueux contenant des billes sphériques infiniment rigides à faible densité volumétrique (Ann. Phys. 1906 et 1911).

Cette étude est rendue possible par le fait que les billes étant très petites par rapport à leur distance, la perturbation qu'elles apportent dans les contraintes, par rapport au cas d'un solide homogène, est limitée au voisinage immédiat de chacune d'elles, et qu'il n'y a pas d'interaction entre les billes.

Nous avons essayé d'appliquer des méthodes d'énergie au cas beaucoup plus complexe et plus général qui est celui de milieu hétérogène où le rapport volumétrique c est élevé (type béton) de sorte que les éléments se touchent, ou tout au moins sont suffisamment rapprochés pour qu'il y ait interaction. Nous sommes arrivés à un résultat négatif, mais qui cependant permet d'affirmer, à notre avis, que pour de tels milieux, la relation entre E , E' , E'' ne peut être indépendante de la forme des éléments.

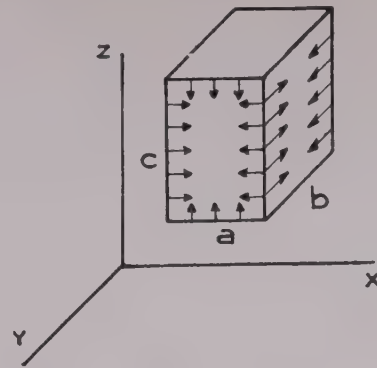


FIG. 11.

Considérons en effet, un parallélépipède de côtés abc et de volume V (fig. 11), formé d'un matériau hétérogène à deux matières caractérisé par les coefficients E' , E'' , v' , v'' , c . Supposons-le soumis sur ses faces extrêmes à des contraintes normales et uniformes n_x , n_y , n_z . L'énergie W est égale à la somme $W' + W''$ de l'énergie dans les deux matières. En vertu du théorème de Castigliano, on a, en appelant Δa , Δb , Δc , la variation de longueur des arêtes et P_x , P_y , P_z les forces totales s'exerçant sur les faces $\left(P_x = bcn_x = V \frac{n_x}{a}\right)$

on a :

$$\Delta a = \frac{\partial W}{\partial P_x} = \frac{a}{V} \frac{\partial W}{\partial n_x} \quad \Delta b = \frac{\partial W}{\partial P_y} = \frac{b}{V} \frac{\partial W}{\partial n_y}$$

$$\Delta c = \frac{\partial W}{\partial P_z} = \frac{c}{V} \frac{\partial W}{\partial n_z}$$

ou encore :

$$(24) \quad \frac{1}{E} [n_x - v(n_y + n_z)] = \frac{a}{V} \frac{\partial W}{\partial n_x}$$

(et deux équations analogues).

Ces équations sont des identités dans le cas d'un matériau homogène. Dans le cas d'un matériau hétérogène, s'il était possible d'exprimer $W = W' + W''$ en fonction des contraintes moyennes partielles n'_x , n'_y , n'_z , n''_x , n''_y , n''_z , notre problème serait résolu. En effet les n' et n'' sont, comme nous l'avons démontré, des fonctions de E , E' , E'' , v , v' , v'' , c , n_x , n_y , n_z . Par conséquent, il en serait de même de W . Si donc nous reprenons les trois équations (24) du théorème de Castigliano, il nous faudra exprimer les conditions pour que ces équations soient des identités quels que soient n_x , n_y , n_z . En raison de la symétrie des trois équations, qui se déduisent l'une de l'autre par permutation circulaire, et de la symétrie de chacune d'elles par rapport à deux des variables, ces conditions se réduiraient à deux, qui seraient de la forme :

$$\phi(E'E''v'v'') = 0$$

$$\psi(E'E''v'v'') = 0$$

d'où l'on pourra tirer E et v en fonction de E' , E'' , v' , v'' , c .

Le problème se ramène donc à exprimer W en fonction des n' et des n'' . On a :

$$W' = \iiint_V \left[\frac{1}{2E'} \Sigma \sigma_x^2 - \frac{v'}{E'} \Sigma \sigma_x \sigma_y + \frac{1}{2G'} \Sigma \tau_{xy}^2 \right] dV'$$

et une expression analogue pour W'' .

Études expérimentales des coefficients d'élasticité de divers matériaux hétérogènes (Voir page 69).

NATURE des cailloux	NATURE du mortier	DIMENSION des éprouvettes	AGE	PROCÉDÉ de mesure	E' (cailloux) kg/cm ²	E'' (mortier) kg/cm ²	c	E (cailloux + mortier) kg/cm ²	E moyenne	E _{mat} = cE' + (1-c)E''	$\frac{E_{mat} - E}{E} \times 100$	r moyenne	OBSERVATIONS
Diorite 20/40 mm	Ciment : 700 kg Sable : 1260 kg Eau : 300 litres Sable utilisé : sable de Seine de Seine < 2 mm	16 cm × 16 cm × 50 cm	24 jours	Fréquence de résonance d'un prisme en vibration longitudinale	1 041 000	346 000	0,40	490 000		624 000	27 %	26 %	Conservation à l'eau
								477 000		"	31 %		
								492 000	495 000	"	27 %		
								509 000		"	23 %		
								505 000		"	24 %		
								568 000		694 000	22 %		
								537 000		"	29 %		
								555 000	550 000	"	25 %		
								537 000		"	29 %		
								554 000		"	25 %		
Diorite 10/20 mm	Même dosage Sable utilisé : sable de Seine de Seine < 1 mm	16 cm × 16 cm × 50 cm	15 jours	— d° —	1 041 000	337 000	0,33	415 000		575 000	39 %	35 %	— d° —
								420 000		"	34 %		
								435 000	425 000	"	32 %		
								423 000		"	36 %		
								427 000		"	35 %		
								476 000		638 000	34 %		
								466 000		"	35 %		
								473 000	471 000	"	35 %		
								474 000		"	35 %		
								470 000		"	36 %		
Diorite 10/20 mm	Même mortier	16 cm × 16 cm × 50 cm	15 jours	— d° —	1 047 000	326 000	0,33	427 000		707 000	33 %	34 %	Conservation à l'air
								511 000		"	39 %		
								538 000	527 000	"	32 %		
								525 000		"	35 %		
								535 000		"	32 %		
Diorite 10/20 mm	Même mortier	16 cm × 16 cm × 50 cm	15 jours	— d° —	1 047 000	326 000	0,33	427 000		561 000	32 %	34 %	Conservation à l'air
								412 000	419 000	"	37 %		
								425 000		"	33 %		
								415 000		"	35 %		
								414 000		"	36 %		
								484 000		629 000	30 %		
								462 000	475 000	"	36 %		
								480 000		"	31 %		
								476 000		"	32 %		
								477 000		"	32 %		
Diorite 10/20 mm	Même mortier	16 cm × 16 cm × 50 cm	15 jours	— d° —	1 047 000	326 000	0,33	518 000		701 000	35 %	32 %	Conservation à l'air
								518 000		"	37 %		
								518 000		"	37 %		
								518 000		"	37 %		
								518 000		"	37 %		
								518 000		"	37 %		
								518 000		"	37 %		
								518 000		"	37 %		
								518 000		"	37 %		
								518 000		"	37 %		

Billes verre ø 17-18 mm	Même dosage que précé- dement Sable utilisé : Fontaine- bleau	8 cm × 8 cm × 50 cm	13 jours	— d° —	742 000	313 000	0,35 0,45 0,55	396 000 388 000 399 000 405 000 405 000 437 000 426 000 443 000 429 000 423 000 467 000 486 000 444 000 476 000 461 000	399 000 431 000 467 000	463 000 » » » 506 000 » » » 549 000 » » » » »	17 % 19 % 16 % 14 % 14 % 16 % 19 % 14 % 18 % 20 % 18 % 19 % 24 % 15 % 19 %	16 % 17 % 17 %	Conserva- tion à l'eau	
Morceaux verre entre 12,5 et 22 mm	— d° —	8 cm × 8 cm × 50 cm	13 jours	— d° —	742 000	313 000	0,35 0,45	380 000 389 000 399 000 395 000 400 000 418 000 428 000 421 000 434 000 431 000	393 000 426 000	463 000 » » » » 506 000 » » » » » » » »	22 % 19 % 16 % 17 % 16 % 21 % 18 % 20 % 17 % 17 %	18 % 18 %	— d° —	
Diorite 10/20 mm	Plâtre	16 cm × 16 cm × 50 cm		— d° —	1 047 000	374 000	0,59	638 000		771 000	21 %			
Billes verre ø 5 mm	Araldite	5 cm × 5 cm × 25 cm		— d° —	720 000	38 900	0,64	175 000		475 000	172 %			
Acier (cylindres ø 5 mm h = 5 mm	Mortier de même dosage Sable Fon- tainebleau	5 cm × 5 cm × 25 cm	13 jours	— d° —	2 200 000	313 000	0,55	600 000		1 350 000	125 %			
Billes acier ø 5 mm	Alliage-lino	5 cm × 5 cm × 25 cm		— d° —	2 200 000	289 000	0,54	650 000		1 320 000	112 %			

L'expression sous le signe \iiint faisant intervenir des carrés et des termes rectangles, il est impossible d'exprimer l'intégrale en fonction des moyennes n' et t' des σ et des τ dans le volume V' . — W' dépend, non seulement des moyennes n' et t' , mais de la loi de fréquence des σ et des τ dans le volume V' . Or cette loi de fréquence dépend essentiellement de la forme et de la répartition mutuelle des éléments. Par exemple, si les éléments sont des sphères égales, on pourra, avec une même valeur de c n'avoir aucun contact, ou au contraire de nombreux contacts entre les sphères, suivant leur disposition mutuelle, et les courbes de fréquence seront différentes dans les deux cas. De même, pour une valeur constante de c , les contraintes de contact seront très différentes selon que les éléments sont ovoïdes ou anguleux.

Même si l'on admettait l'hypothèse que les lois de fréquence sont données par des formules de Gauss, l'expression de W contiendrait non seulement les moyennes n' et n'' des σ , mais aussi les écarts-types de σ_x , σ_y , σ_z dans chacun des deux milieux. Or ces écarts-types n'ont aucune raison d'être indépendants de la forme des éléments, puisque les conditions de contacts introduisent, comme nous l'avons dit plus haut, des concentrations locales de contraintes très différentes suivant que les éléments sont ovoïdes ou anguleux. Donc, même en admettant l'hypothèse arbitraire d'une loi de Gauss pour la fréquence des contraintes, il ne saurait y avoir de relations générales reliant E , E' , E'' .

Certains auteurs qui ont étudié les métaux polycristallins ont admis l'hypothèse d'égalité des extensions moyennes, hypothèse qui ne repose sur aucune base expérimentale.

Voyons quelles sont les conséquences de cette hypothèse. Si nous reprenons nos équations (11) et (13), les équations (13) se réduisent à des identités si $e' = e'' = e$. Les équations (11) prennent la forme suivante :

$$(\lambda + 2\mu) e_x + \lambda (e_y + e_z) = c [(\lambda' + 2\mu') e'_x + \lambda' (e'_y + e'_z)] + (1 - c) [(\lambda'' + 2\mu'') e''_x + \lambda'' (e''_y + e''_z)]$$

et deux équations analogues.

Si l'on fait $e_x = e'_x = e''_x$;

$$e_y = e'_y = e''_y$$

$$e_z = e'_z = e''_z$$

on trouve facilement que les trois équations précédentes ne sont vérifiées, quels que soient e_x , e_y , e_z , que si l'on a :

$$(25) \quad \begin{cases} \lambda = c\lambda' + (1 - c)\lambda'' \\ \mu = c\mu' + (1 - c)\mu'' \end{cases}$$

On peut facilement, de ces deux équations, tirer les valeurs de E et ν :

$$(26) \quad \begin{cases} E = \frac{[cE'(1 + \nu'') + (1 - c)E''(1 + \nu')]}{cE'(1 + \nu'')(1 - 2\nu'') + (1 - c)E''(1 + \nu')(1 - 2\nu')} \\ \nu = \frac{cE'\nu'(1 + \nu'')(1 - 2\nu'') + (1 - c)E''\nu''(1 + \nu')(1 - 2\nu')}{cE'(1 + \nu'')(1 - 2\nu'') + (1 - c)E''(1 + \nu')(1 - 2\nu')} \end{cases}$$

Nous avons ainsi démontré que l'hypothèse de l'égalité des extensions moyennes est équivalente à celle d'une relation entre E , E' , E'' , ν , ν' , ν'' , c , relation indépendante de la forme des éléments.

Comme cette relation ne concorde ni avec les considérations théoriques précédentes, ni comme nous le verrons plus loin, avec l'expérience, l'hypothèse de l'égalité des extensions moyennes est par conséquent arbitraire.

N'importe quelle autre hypothèse sur une relation entre les extensions ou les contraintes moyennes conduirait à des formules donnant E et ν en fonction de E' , ν' , E'' , ν'' , c . Voyons par exemple l'hypothèse de l'égalité des contraintes moyennes. Si l'on fait : $n' = n'' = n$ dans les équations (14), on a :

$$\frac{1}{E} [n_x - \nu (n_y + n_z)] = \frac{c}{E'} [n_x - \nu' (n_y + n_z)] + \frac{1 - c}{E''} [n_x - \nu'' (n_y + n_z)]$$

et deux équations analogues.

Ces trois équations ne sont des identités en n_x , n_y , n_z que si l'on a :

$$(27) \quad \begin{cases} \frac{1}{E} = \frac{c}{E'} + \frac{(1 - c)}{E''} \\ \frac{\nu}{E} = \frac{c\nu'}{E'} + \frac{(1 - c)\nu''}{E''} \end{cases}$$

Ces relations sont inacceptables, d'une part en raison des considérations générales qui précèdent, et d'autre part parce que dans le cas d'un matériau poreux ($E' = 0$), on devrait avoir aussi $E = 0$, ce qui est contraire à l'expérience.

En résumé :

1° il ne peut y avoir de relations du type :

$$E = f(E', E'', \nu', \nu'', c)$$

$$\nu = g(E', E'', \nu', \nu'', c)$$

indépendantes de la forme des éléments, et valables pour tous les matériaux à deux corps, statistiquement homogènes et isotropes.

2° toute hypothèse *a priori* sur une relation entre les extensions et les contraintes moyennes (et notamment l'hypothèse de l'égalité des extensions moyennes) conduit à des formules exprimant E et ν en fonction de E' , E'' , ν' , ν'' , c . Ces hypothèses, quelles qu'elles soient, ne peuvent donc avoir un caractère général.

2° Résultats expérimentaux.

Les seuls travaux que nous connaissions dans ce domaine sont les suivants :

M. Guillet⁽¹⁾ a étudié les alliages métalliques et a constaté la loi :

$$E = cE' + (1 - c)E''$$

(loi des mélanges). Chaque milieu interviendrait proportionnellement à son volume.

M. Chefdeville (*Annales de l'I. T. B. T. P.* n° 16 juill. 50) a fait des essais sur des bétons de calcaire dur et il a vérifié la même loi. Il utilisait du calcaire dont le E' était de l'ordre de 630 000 kg/cm², et il faisait varier c de 0,65 à 0,80 environ.

(1) Influence de la structure et de la composition des alliages métalliques sur leurs propriétés élastiques. Mém. de la Sté des Ing. civ. de France — juill. 1946.

Cette loi des mélanges nous a paru contestable dans sa généralité car, pour les bétons de cailloux très durs comme par exemple des cailloux de diorite, dont le E' est de l'ordre de 1 100 000 kg/cm², elle conduit à un E de l'ordre de 850 000 kg/cm², ce qui n'a jamais été observé pour aucun béton. Nous avons donc repris les essais avec divers matériaux hétérogènes à deux corps. Les mesures ont été faites pour les matériaux suivants :

1° Bétons dont on a fait varier à la fois la compacité c et la nature des « cailloux » (diorite, verre, acier). Pour le béton de calcaire dur, on a repris les chiffres de M. Chevdeville. Des essais avec des bétons de calcaires tendres n'ont pas donné de résultats satisfaisants en raison de l'impossibilité de déterminer le coefficient d'élasticité des cailloux, trop poreux et hétérogènes.

2° Bétons où le mortier était remplacé par du plâtre.

3° Billes de verre noyées dans l'araldite.

4° Billes d'acier noyées dans l'alliage « lino ».

On a fait seulement des mesures de E E' E'' d'une part parce que les mesures du coefficient de Poisson sont plus difficiles et d'autre part parce que c'est la relation entre les E qui est la plus importante à connaître.

Les mesures ont été faites, soit par la méthode statique (capteurs Philipps), soit par une méthode dynamique (vibration d'éprouvettes en $\frac{1}{2}$ onde).

En ce qui concerne les bétons, pour chaque prisme expérimental, un prisme de mortier de même importance a été coulé en même temps que le béton, et les deux prismes ont évidemment été conservés dans les mêmes conditions et essayés le même jour. On sait que pour les bétons et les mortiers, les modules d'élasticité obtenus par voie dynamique sont plus élevés que les modules statiques, ce qui tient au fait que la loi de déformation n'étant pas linéaire, la méthode statique donne la pente de la tangente à l'origine de la courbe (fig. 12) et le module statique la pente d'une droite telle que OA.

Le tableau des pages 66 et 67 résume nos résultats.

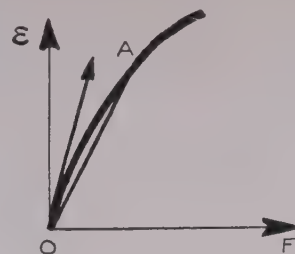


FIG. 12.

La colonne 9 du tableau donne les valeurs expérimentales de E , et la colonne 10 les valeurs moyennes, au cas où les mesures ont été faites sur plusieurs échantillons.

La colonne 10 donne la valeur théorique résultant de la loi des mélanges $E_{\text{mél.}} = c E' + (1 - c) E''$. La colonne 11 donne le pourcentage d'écart entre cette valeur théorique et la valeur expérimentale.

Il semble que l'écart par rapport à la loi des mélanges croît en même temps que $\frac{E'}{E''}$. Cet écart peut prendre des valeurs très importantes comme on le voit par l'exemple des billes de verre noyées dans l'araldite.

Nous avons essayé de savoir si la forme des éléments avait une influence en comparant des bétons avec cailloux de verre où tout était identique, sauf la forme des éléments (billes de verre, ou morceaux de verre cassé). Il n'y a pas d'écarts significatifs entre les deux résultats.

Bien entendu, pour tirer des conclusions d'ensemble, il faudrait réunir une série de mesures beaucoup plus importante que celle que nous donnons dans cet article. Cela est assez facile avec les bétons (mais alors on ne dispose pas d'une gamme très étendue pour $\frac{E'}{E''}$). Cela l'est beaucoup moins pour des matériaux hétérogènes expérimentaux tels que les billes de verre dans l'araldite, dont la fabrication correcte est difficile et coûteuse.

III. — ÉTUDE EXPÉRIMENTALE DES CONTRAINTES A PETITE ÉCHELLE

L'analyse mathématique de l'hétérogénéité des contraintes ne peut aller très loin puisqu'elle n'atteint que des moyennes. Pour connaître les contraintes elles-mêmes, il faudrait comme nous l'avons vu plus haut (p. 58) se livrer à une analyse inextricable. Il n'y a d'autre moyen d'aller plus avant dans la connaissance de la répartition réelle des contraintes que de passer à l'expérience. Celle-ci se heurte à de sérieuses difficultés : d'abord la structure des contraintes est beaucoup plus complexe, plus enchevêtrée, que dans les problèmes usuels des matériaux homogènes et en particulier le gradient des contraintes est extrêmement élevé, d'où la nécessité de faire les mesures sur des bases très courtes. D'autre part, la répartition des contraintes dépend du hasard de la répartition des grains et varie par conséquent d'un milieu hétérogène à un autre, même s'ils ont exactement la même composition, d'où la difficulté d'obtenir des conclusions générales.

Quoi qu'il en soit, des résultats partiels étant préférables à une ignorance totale, nous avons essayé de faire des mesures par divers procédés sur des prismes de béton, celles-ci étant faites soit sur une face brute de décoffrage, soit sur une face sciée.

Le béton est un corps particulièrement hétérogène puisqu'il est composé de cailloux, de sable, de cristaux de ciment, d'eau occluse et d'air. Cependant l'hétérogénéité du mortier étant à plus petite échelle que les cailloux, on peut en première approximation, considérer le béton comme un matériau à deux corps : le mortier et les cailloux, chacun d'eux étant supposé homogène.

Pour être valable, cette hypothèse suppose que les cailloux soient tous de la même roche et que le mortier soit très fin. D'autre part, des essais préalables ont fait apparaître des gradients de contraintes élevés, aussi pour diminuer le gradient, avons-nous été conduit à augmenter la dimension des cailloux.

Pour ces diverses raisons, nous avons utilisé un béton expérimental constitué par du mortier très fin (sable de Fontainebleau tamisé à 0,5 mm) et des cailloux de diorite à l'anneau de 40/60, c'est-à-dire un béton dont les cailloux sont environ deux fois plus gros que dans un béton habituel et le mortier beaucoup plus fin. Celui-ci peut donc bien être considéré en première approximation comme homogène puisque la dimension des grains de sable était très petite par rapport à celle des cailloux. On s'est attaché à éliminer complètement les

bulles d'air par une vibration et un dosage très soignés, toujours dans le but d'avoir un mortier homogène. Bien entendu, l'influence des bulles sur les contraintes est également un intéressant problème, mais qui introduit un milieu de plus, donc une complexité encore plus grande.

La composition du béton était la suivante : 1 400 kg de diorite, 680 kg de sable, 150 l d'eau et 350 kg de ciment Portland-Lafarge C. P. B. 250/315.

Les mesures ont été effectuées :

1° Sur des prismes de béton dont les faces étaient sciées pour faire apparaître la section des cailloux et du mortier;

2° Sur des faces brutes de décoffrage.

Les procédés des mesures étaient les suivants :

1° Vernis craquelants;

2° Vernis photoélastique;

3° Jauges.

1° Vernis craquelants.

On connaît ce procédé qui permet d'obtenir le réseau des isostatiques au moyen d'une fine couche d'un vernis spécial qui a la propriété de craquer pour de très faibles extensions, et de matérialiser ainsi les isostatiques. Ce vernis est normalement utilisé sur pièces métalliques. Un essai direct sur béton a donné un résultat entièrement négatif. On a donc été obligé de se ramener au cas d'une pièce métallique en collant une feuille de clinquant de laiton de 2/100 mm sur la face du béton. Le collage était fait sous presse de manière que le film de colle soit aussi faible que possible et ne donne pas lieu à fluage appréciable une fois le bloc de béton mis en charge.

La présence du clinquant, étant donné sa très faible épaisseur (équivalente, compte tenu du rapport des coefficients d'élasticité à une couche de mortier de 1/10 de mm) ne pouvait influencer notablement sur la répartition des contraintes superficielles.

La figure 13 donne le tracé des isostatiques pour la face sciée d'un prisme de béton placé sous presse, c'est-à-dire soumis à une pression normale sur ses faces extrêmes. Si le prisme était homogène, les isostatiques seraient des droites parallèles. On voit que l'hétérogénéité influe fortement sur le tracé des isostatiques, qui en général, semblent plus serrées dans les cailloux que dans le mortier.

La figure 14 donne le tracé des isostatiques sur une face brute de décoffrage. Le tracé est plus régulier, mais présente cependant des ondulations qui indiquent une certaine irrégularité de répartition des contraintes, sur laquelle nous reviendrons plus loin.

2° Vernis photoélastique.

Le vernis craquelant donne le tracé des isostatiques, mais il ne donne que des indications quantitatives imprécises et

douteuses, surtout pour des extensions relativement faibles, ce qui était notre cas.

Pour faire des mesures, nous avons utilisé la technique des vernis photoélastiques qui a été mise au point, en France, ces dernières années par M. Zandmann.

Rappelons le principe du vernis photoélastique. Si l'on veut étudier les contraintes de surface d'une pièce quelconque, plane ou non, on peut, si cette pièce est réfléchissante (par exemple une pièce métallique polie), la recouvrir d'un vernis transparent à base de résines synthétiques et d'une épaisseur d'au moins 1 mm.

Quand la pièce sera mise en charge, il suffira d'examiner par réflexion le vernis en lumière polarisée pour avoir des indications qualitatives et quantitatives sur les contraintes de surface.

Le vernis suit en effet les déformations de surface, et sa biréfringence est proportionnelle en chaque point à la différence des contraintes principales dans le vernis.

L'aspect général du vernis donne par les différences de coloration une très bonne visualisation qualitative de la répartition des contraintes et en particulier des zones de concentration des contraintes. Pour mesurer celles-ci, on se sert d'un microscope polarisant spécialement étudié à cet effet, et qui permet de faire des mesures point par point.

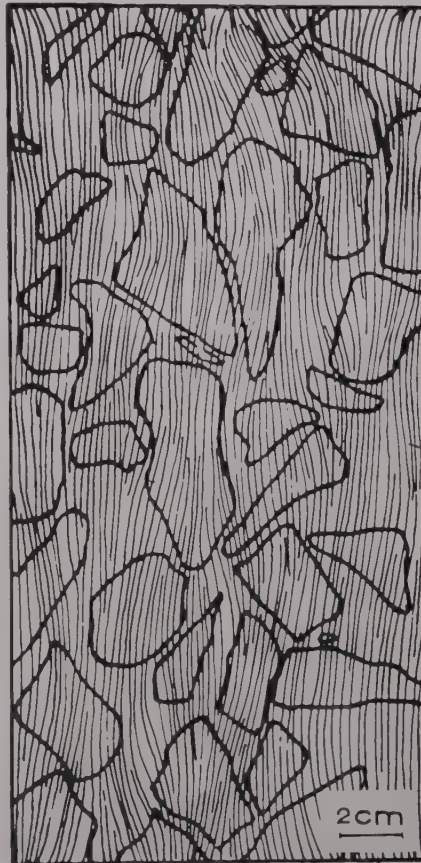


FIG. 13. — Isostatiques obtenues avec vernis craquelant sur la face sciée d'un prisme de béton.

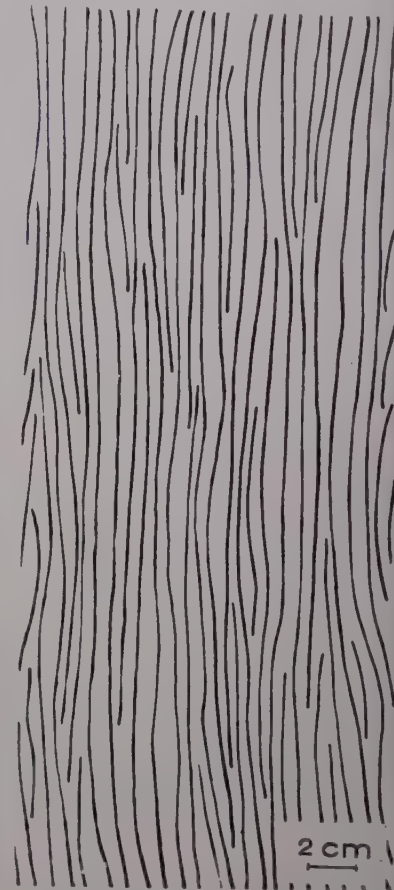


FIG. 14. — Isostatiques obtenues avec vernis craquelant sur une face brute de décoffrage d'un prisme de béton.

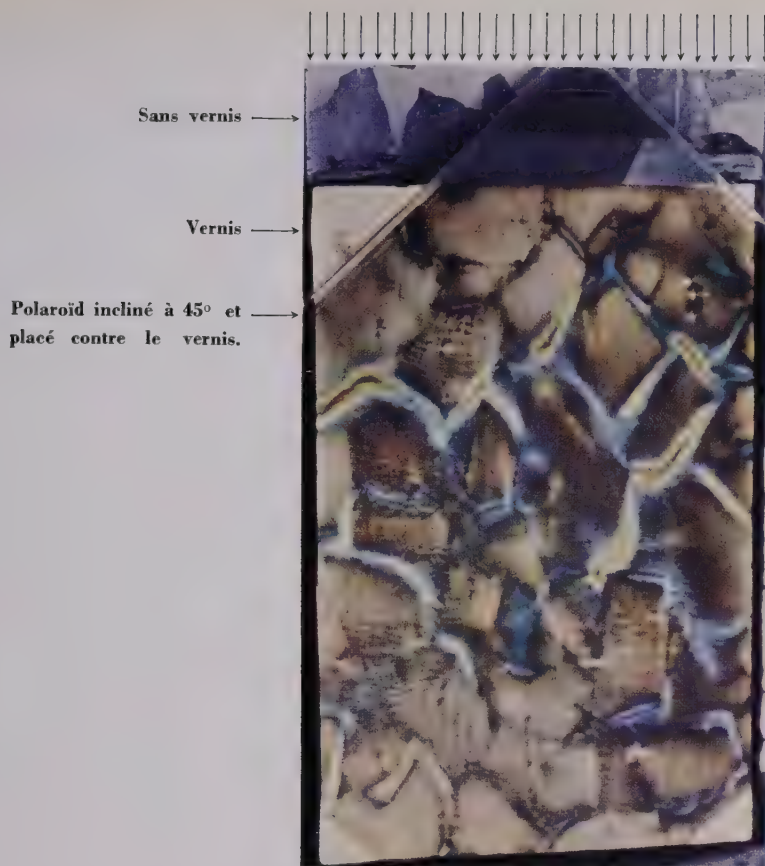


FIG. 17. — Une plaque de vernis photoélastique, rendue réfléchissante par métallisation, est collée sur la face sciée d'un prisme de béton. Après mise en charge, si l'on place un polaroid contre le vernis, on voit réapparaître le contour des cailloux, avec des colorations qui sont liées à l'intensité locale des contraintes (voir page 73 et suivantes).



FIG. 17 bis. — Détail de la figure 17. Dimensions réelles $8,3 \times 12$ cm.

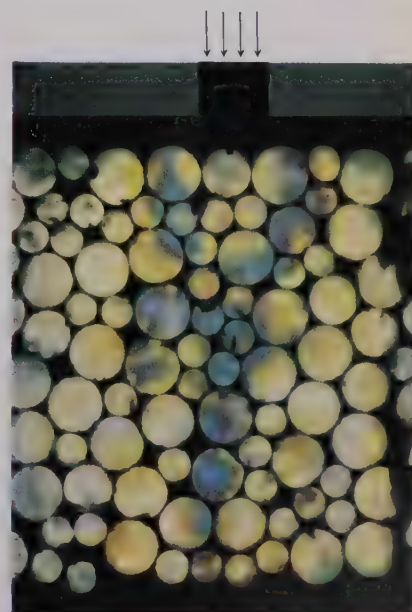


FIG. 28. — Béton de verre à deux dimensions soumis à une charge concentrée et éclairée par transparence en lumière polarisée.
(V. page 76.)

Le principe du vernis photoélastique avait été donné par Mesnager, mais on ne connaissait pas alors de substance suffisamment biréfringente sous l'effet des contraintes pour donner des effets mesurables sur une épaisseur mince. L'introduction de certaines résines a permis de reprendre l'idée de Mesnager.

Comment appliquer la méthode du vernis au béton? Comme ce n'est pas un matériau réfléchissant, on sera obligé de coller sur la face à étudier une plaque de vernis qui a d'abord été rendue réfléchissante par métallisation (Voir fig. 15). Bien entendu, la surface métallisée est placée du côté béton de manière à pouvoir observer le vernis par transparence.

La technique du collage a fait l'objet d'une longue mise au point, car il importe d'avoir une colle qui ne donne pas lieu à fluage, et qui soit suffisamment mince.

Les colorations observées en lumière polarisée blanche dépendent du retard optique introduit par la biréfringence, et, par conséquent, de la valeur des contraintes dans le vernis, contraintes qui sont elles-mêmes proportionnelles aux extensions du point correspondant du béton. Par exemple, la coloration brune dans les cailloux correspond à une biréfringence inférieure à une demi-frange, la coloration jaune à une frange et les points rouges à une frange et demie. Comme une frange, pour le vernis utilisé, correspond à une extension $1,2 \cdot 10^{-3}$, on voit que les couleurs brunes, jaune et rouge, correspondent, en gros, à des extensions $0,40 \cdot 10^{-3}$; $1,2 \cdot 10^{-3}$; $1,8 \cdot 10^{-3}$. Naturellement ce ne sont là que des indications grossièrement quantitatives qui sont précisées par les mesures de biréfringence au microscope polarisant (fig. 16).

Insistons sur le fait que les couleurs sont liées à des extensions dans le béton et non à des contraintes. Comme pour toutes les méthodes extensométriques, il faut, pour obtenir les contraintes, multiplier par le coefficient d'élasticité, soit du caillou, soit du mortier, suivant que le point du vernis considéré est situé devant l'un ou l'autre matériau. Par exemple : si un point correspondant

au caillou et un point correspondant au mortier ont la même couleur sur le vernis, cela signifie que l'extension est la même, mais la contrainte dans le caillou sera cinq fois plus grande que dans le mortier puisque le coefficient d'élasticité est cinq fois plus grand. Bien entendu, ce calcul suppose que tous les points de la surface du béton n'ont pas dépassé le domaine élastique, mais cette réserve est la même pour n'importe quelle mesure extensométrique.

Notons également que la mesure de biréfringence ne donne que la différence $\varepsilon_1 - \varepsilon_2$ des extensions principales. Pour avoir ε_1 et ε_2 , il faudra recourir aux jauges. Comme on le verra, l'une des contraintes principales est faible par rapport à l'autre, de sorte que la mesure de $\varepsilon_1 - \varepsilon_2$ donne une bonne approximation de ε_1 .

D'après un simple examen visuel du vernis (V. planches en couleur fig. 17 et 17 bis), on voit que :

1° la couleur des cailloux est dans l'ensemble différente de celle du mortier, ce qui indique que l'extension moyenne est plus forte dans le mortier que dans les cailloux.

2° Il y a dans le mortier des points de très forte concentration d'extension. Il est probable qu'en ces points, le mortier a très largement atteint la zone plastique.

Ces indications qualitatives sont précisées par les mesures faites le long d'une verticale (fig. 18).

On voit que l'extension maxima $2,1 \cdot 10^{-3}$ est 4,6 fois plus forte que l'extension moyenne $0,46 \cdot 10^{-3}$.

Le graphique des contraintes (fig. 20) se déduit du précédent en multipliant par les coefficients d'élasticité correspondants. On voit que les pointes des contraintes

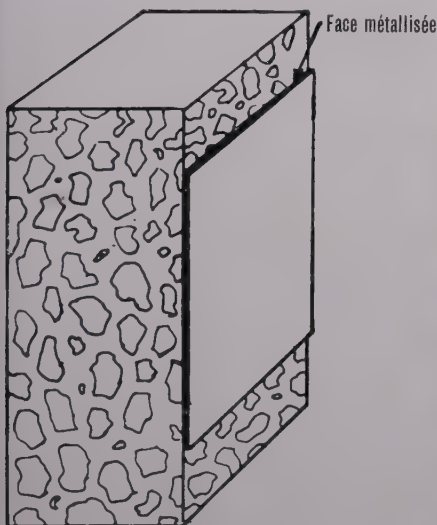


FIG. 15.

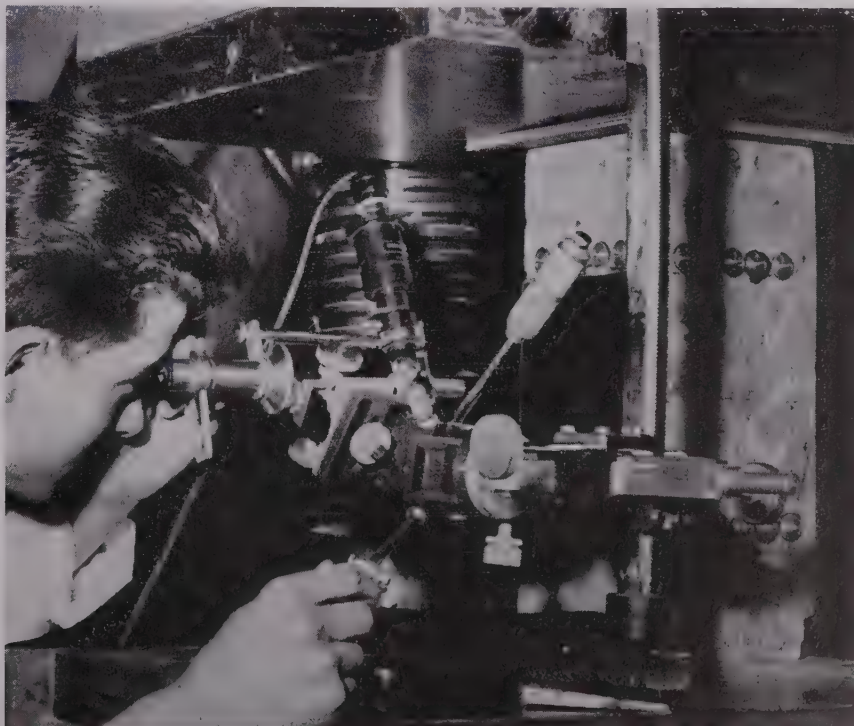


FIG. 16. — Microscope polarisant pour mesures ponctuelles des contraintes dans le vernis photoélastique.

se trouvent dans les cailloux. Elles sont de 470 kg/cm^2 , c'est-à-dire 2,8 fois les contraintes moyennes. Dans le mortier, le maximum des contraintes est de 320 kg/cm^2 .

Cette dernière valeur est approximative, car elle a été obtenue en multipliant l'extension par le coefficient d'élasticité, ce qui est valable dans le domaine élastique, alors qu'il est probable que l'on a très largement dépassé le domaine de linéarité des déformations en ces points du mortier.

Les aspects photoélastiques disparaissent immédiatement après décompression. Mais si la compression a été maintenue pendant plusieurs heures au voisinage de 200 kg/cm^2 , il reste de fortes extensions rémanentes. L'étude détaillée n'a pas été faite. Cette « mémoire » du béton semble, d'après l'aspect du vernis observé en lumière polarisée après décompression, être localisée au mortier, comme cela s'explique facilement, et elle atteint des valeurs importantes.

La figure 22 représente la variation des extensions le long d'une droite verticale tracée sur une surface brute de décoffrage pour un béton de même composition que celui qui a été étudié ci-dessus. On voit que l'écart par rapport à la moyenne est beaucoup moins grand que sur le béton scié, mais cependant il reste assez élevé.

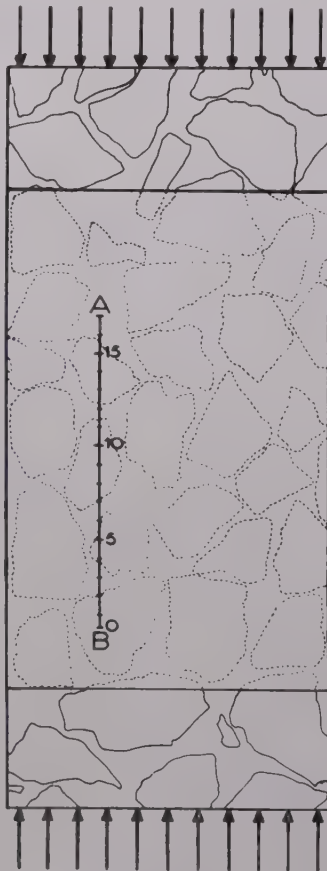


FIG. 18. — Croquis indiquant la ligne AB le long de laquelle ont été faites les mesures sur vernis photoélastique.

Aussi, dans les auscultations d'ouvrage, importe-t-il que l'instrument de mesure ait au moins 10 cm de long de manière à intégrer les irrégularités des contraintes. Les jauges courtes de 2 ou 3 cm de longueur semblent donc à proscrire.

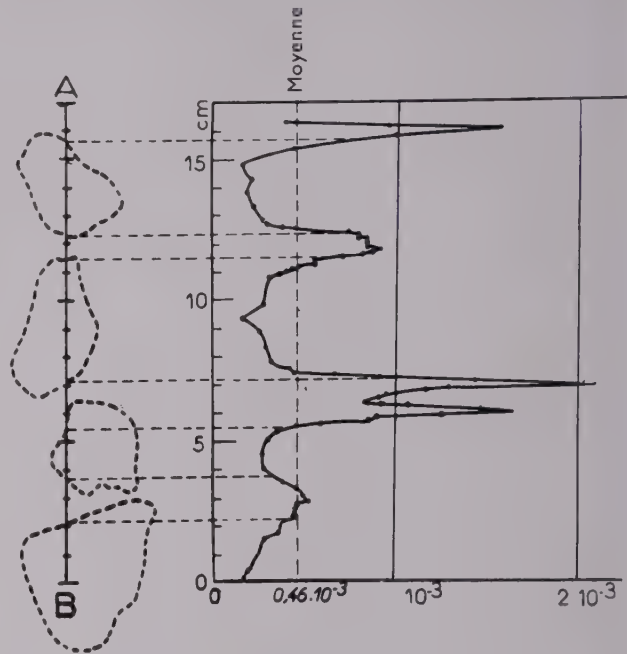


FIG. 19. — Extensions le long d'une verticale AB sur la face sciée d'un prisme de béton soumis à une contrainte moyenne de 170 kg/cm^2 .

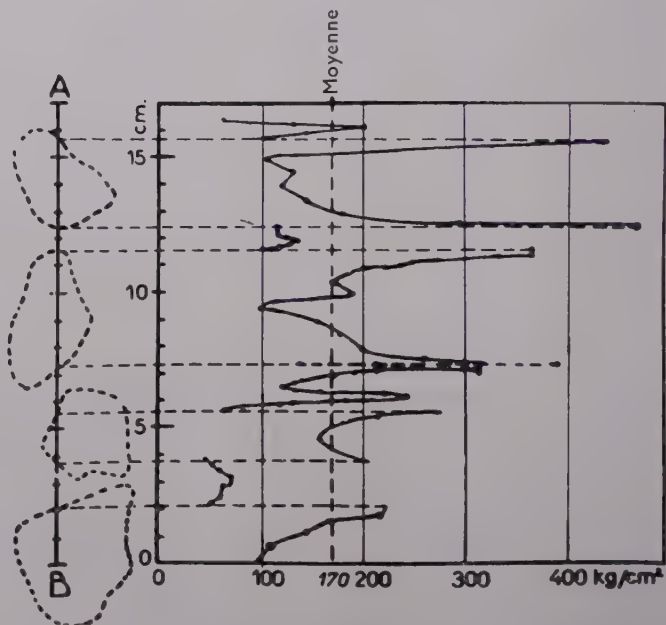


FIG. 20. — Graphique des contraintes déduit du graphique de la figure 19.

3° Jauges.

Nous ne rappellerons pas le principe des jauges à fil résistant, qui est bien connu.

Le gros avantage du vernis photoélastique sur les jauges est de donner par simple examen avec un polaroid, une bonne visualisation de la répartition des con-

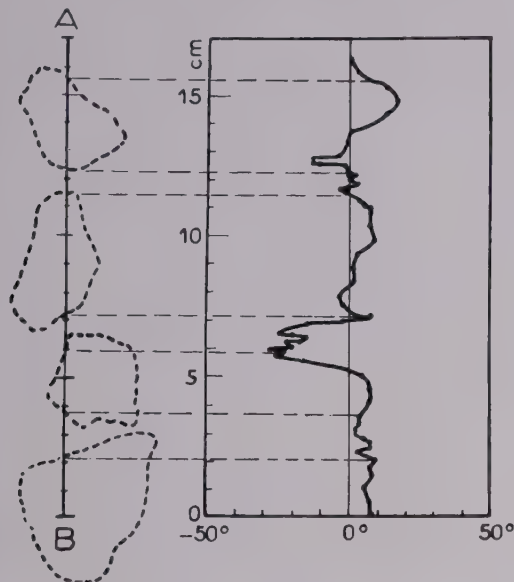


FIG. 21. — Graphique de l'inclinaison des contraintes principales le long de AB.

traintes et en particulier de déceler immédiatement les zones de concentration des contraintes. Aussi avons-nous commencé par une étude sur vernis. Puis, après avoir photographié l'aspect coloré et mesuré les valeurs des contraintes en divers points, le vernis était décollé, la face du béton était rodée pour enlever le reste de colle, et des jauges étaient placées aux points qui avaient été reconnus intéressants par l'examen du vernis. Les mesures par jauges permettaient donc de compléter, et de préciser les résultats du vernis.

L'étude par jauges a été faite sur une face sciée (fig. 23) et sur une face brute de décoffrage (fig. 25).

Les jauges ne sont pas appliquées directement, mais sur un clinquant très mince (2/100 mm) collé sur le béton. C'est une précaution indispensable en raison des traces d'humidité qui peuvent provenir du mortier et qui fausseraient complètement les mesures. Comme pour le vernis craquelant, ce clinquant était collé sous presse, de manière à ce que le film de colle soit aussi mince que possible.

Les jauges sont placées dans les points de concentration des contraintes et aussi dans les points « ordinaires » où les contraintes s'écartent peu de la moyenne.

Les jauges sont placées en chaque point dans les directions reconnues comme directions principales en lumière polarisée.

En raison du très fort gradient de contraintes aux points de concentration, on utilise de très petites jauges, dont la longueur active est de 1,7 mm (jauges Baldwin).

La figure 24 représente le résultat obtenu par les mesures par jauges sur face sciée du prisme de béton avec une contrainte moyenne de 176 kg/cm². Ces mesures donnent les extensions principales ϵ_1 et ϵ_2 (tandis que le

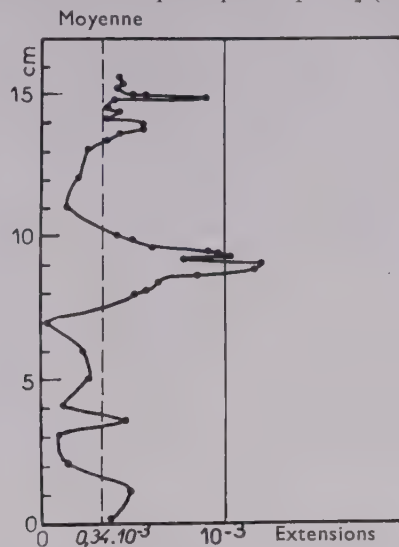


FIG. 22. — Graphique des extensions le long d'une droite verticale sur la face brute de décoffrage d'un prisme de béton soumis à une contrainte moyenne de 130 kg/cm².

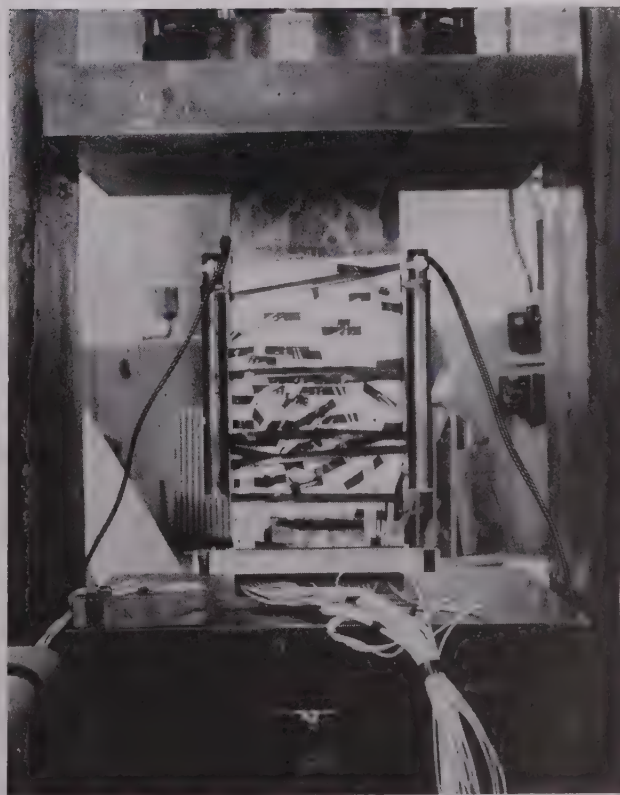


FIG. 23. — Prisme de béton placé sous presse et muni de jauges sur une face sciée.

vern timer ne permet de mesurer que ε_1 — ε_2). Comme on le voit sur la figure, ε_2 (extension principale horizontale) est très faible par rapport à ε_1 dans la plupart des points étudiés.

Les mesures par jauges, là où on a pu les comparer à celles sur vernis concordent de façon satisfaisante. On voit que les extensions aux points précis repérés d'abord sur vernis comme points de contraintes, atteignent $2,49.10^{-3}$, tandis qu'elles sont seulement de $0,19.10^{-3}$ en un autre point du mortier.

La figure 25 représente le résultat obtenu avec les jauges sur une face brute. On a seulement placé des jauges verticales aux sommets d'un quadrillage. La dispersion, quoique beaucoup plus faible que celle observée sur la face sciée, reste importante (maximum $0,82.10^{-3}$, minimum $0,23.10^{-3}$).

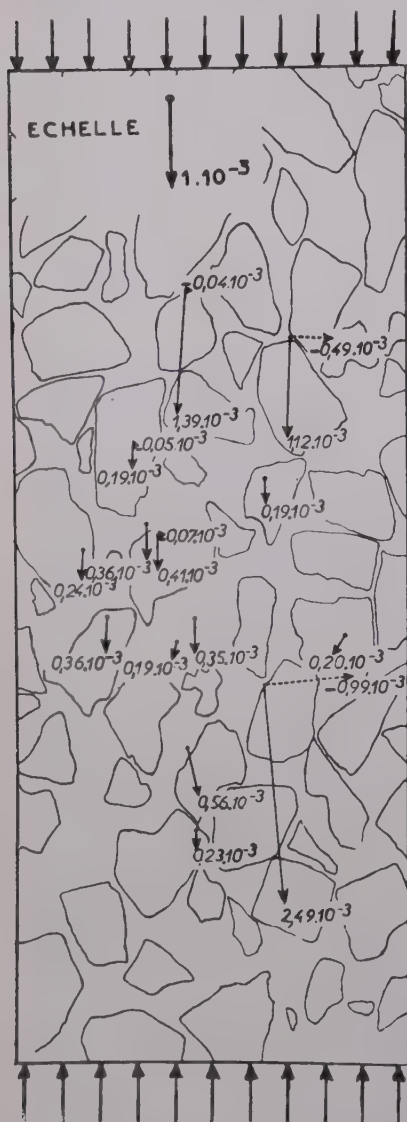


FIG. 24. — Résultats des mesures par jauge en divers points de la face sciée d'un prisme de béton soumis à une contrainte moyenne de 176 kg/cm^2 .

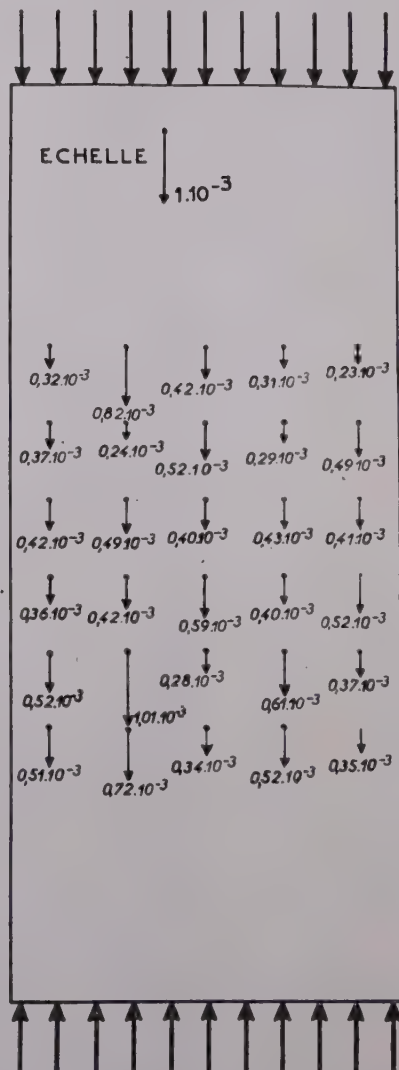


FIG. 25. — Résultats des mesures par jauges sur la face brute de décoffrage d'un prisme de béton supportant une contrainte moyenne de 200 kg/cm^2 .

4° Bétons à deux dimensions.

Une autre voie d'attaque du problème consiste à le simplifier en réalisant un béton expérimental à deux dimensions dont les « cailloux » sont des petits cylindres de verre enrobés dans du mortier. Les cylindres sont de diamètre variable (5 à 10 mm), mais de longueur uniforme (2 cm). On réalise ainsi une plaque de « béton » dont l'épaisseur AA' était égale à la longueur des cylindres de verre, ceux-ci étant tous placés parallèles à cette arête. Quand deux cylindres se touchent, ils sont évidemment en contact suivant une génératrice (fig. 26).

Ce béton est transparent si on le regarde perpendiculairement à la face ABCD. S'il est soumis à des efforts et placé dans un banc de photoélasticité, on pourra étudier les contraintes dans les « cailloux ». Bien entendu, avant toute mise en charge, les cailloux de verre sont déjà contraints par le retrait du béton, et l'on peut mesurer ces contraintes initiales, ou encore les éliminer en laissant la plaque de béton dans l'eau pendant la prise jusqu'au moment où l'on étudie les contraintes sous charge.

On a ainsi un matériau hétérogène à deux dimensions dont l'avantage est une étude expérimentale relativement facile, et la possibilité de réaliser à volonté des assemblages quelconques de « cailloux ». Par exemple, on peut étudier ainsi le cas d'un « béton », formé d'un seul « caillou » circulaire enrobé d'un mortier indéfini (cas abordable par le calcul), ou encore le cas beaucoup plus complexe de deux cailloux circulaires égaux en contact, enrobés d'un mortier indéfini, ce mortier supportant un champ uniforme de contraintes, soit parallèlement à la ligne des centres (problème de Hertz généralisé), soit perpendiculairement à la ligne des centres (fig. 27). On peut également, par ce procédé, étudier l'influence du retrait.

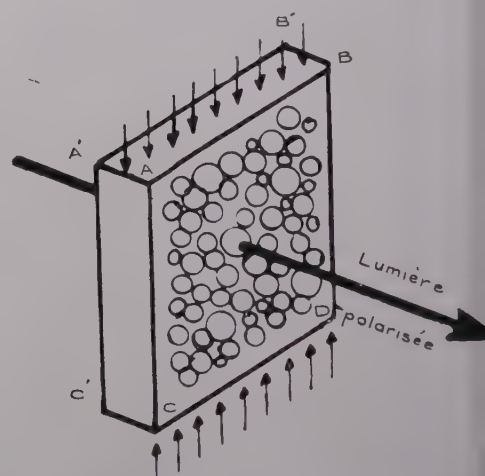


FIG. 26. — Croquis d'un béton expérimental transparent à deux dimensions.

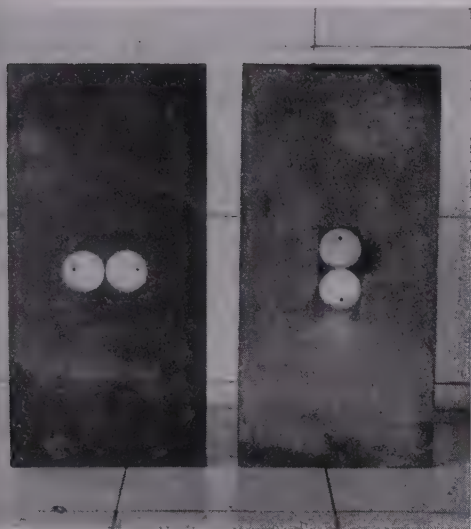


FIG. 27. — Éprouvettes de béton expérimental transparent à deux dimensions.

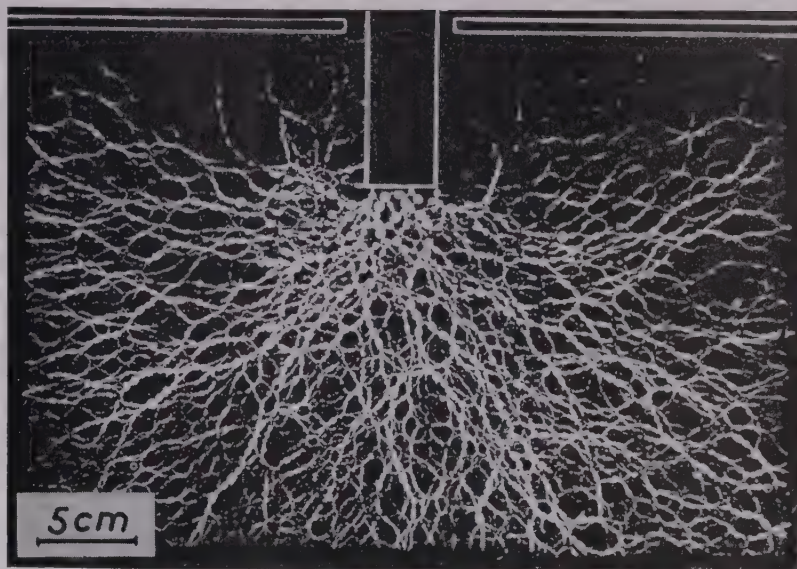


FIG. 29. — Milieu pulvérulent à deux dimensions formé d'un empilement de petits cylindres de verre soumis à une charge centrale et photographié en lumière polarisée.

Cette partie de notre recherche n'a pas été beaucoup développée; nous n'avons pas fait encore de mesures précises et nous donnerons seulement les résultats qualitatifs provenant de l'interprétation de l'aspect coloré des plaques de béton à deux dimensions entre polariseur et analyseur croisés.

Par exemple, si l'on soumet de telles plaques à des charges concentrées, on observe très nettement que les contraintes se propagent le long de chaînes de grains,

qui supportent la plus grande partie des charges, les grains situés en dehors de ces chaînes restant peu ou pas chargés (V. planche en couleurs, fig. 28). Les grains de verre colorés en bleu sont ceux qui supportent les plus fortes contraintes. Nous avons déjà observé le même effet pour des milieux pulvérulents ⁽¹⁾, auxquels nous avons appliqué la même méthode de simplification bidimensionnelle (fig. 29). Cet effet, extrêmement net pour les milieux pulvérulents, est atténué mais encore net pour les milieux hétérogènes.

CONCLUSION

Les limites de cette étude expérimentale des contraintes à petite échelle sont évidentes. D'abord, nous n'avons étudié que le béton, qui est un corps hétérogène particulier. Ensuite, nous nous sommes limités à un béton particulier, et il conviendrait de reprendre cette étude pour des bétons à cailloux de matière et de forme différentes.

Quoi qu'il en soit, malgré le caractère sommaire de ces premiers résultats, nous souhaitons avoir attiré l'attention sur l'intérêt d'un problème, dont la solution, en apportant une meilleure connaissance de la mécanique interne des bétons et d'autres matériaux hétérogènes, ne peut manquer d'avoir indirectement des conséquences d'ordre pratique.

⁽¹⁾ Voir publication du IV^e Congrès de Mécanique des Sols.

DEUXIÈME PARTIE

UTILISATION DES RÉSEAUX POUR L'ÉTUDE DES DÉFORMATIONS

I. — PRINCIPE ET BUT DE LA MÉTHODE

La méthode des réseaux ⁽¹⁾ permet de visualiser et de mesurer les déformations dans le domaine de la plasticité et du fluage. C'est un procédé d'extensométrie à deux et à trois dimensions valable pour des extensions supérieures ou égales à 2.10^{-4} et qui, par conséquent, fait le pont entre les méthodes extensométriques courantes telles que la photoélasticité et les jauges, applicables aux faibles extensions, et la mesure de très fortes extensions, qui se fait sans aucune difficulté, par exemple en traçant ou en imprimant un quadrillage sur la pièce à étudier et en mesurant au microscope micrométrique les variations de longueur des mailles du quadrillage.

La méthode est de caractère *purement géométrique* et ne fait appel à aucun phénomène physique intermédiaire lié aux extensions, et par conséquent n'est pas sujette aux erreurs dues à la *non-linéarité* pour les fortes extensions ou à la *dérive dans le temps* pour les phénomènes de longue durée.

Le principe est l'utilisation du phénomène du *moiré*. Chacun a pu observer ce phénomène dans la superposition d'étoffes fines et transparentes. On l'observe également avec des réseaux, alors que les traits sont beaucoup plus rapprochés.

Supposons que l'on dispose de deux réseaux identiques formés de traits rectilignes parallèles et noircis, ou encore

de deux copies photographiques du même réseau. Si on les suppose tels que les traits de l'un des réseaux fassent un petit angle α avec ceux de l'autre réseau, on observera alors un moiré formé de franges rectilignes et équidistantes, perpendiculaires à la bissectrice de l'angle des traits des deux réseaux. Ces traits sont invisibles à l'œil mais au contraire les traits du moiré sont parfaitement visibles et peuvent se prêter à des mesures concernant leur direction et leur écartement.

Si l'on fait varier l'angle α , l'écartement des traits varie considérablement.

Supposons maintenant que l'un des deux réseaux soit imprimé photographiquement sur une face plane d'un corps déformable quelconque, par exemple une pièce métallique. Le réseau suivra les déformations de son support, et si l'on superpose le deuxième réseau non déformé (réseau témoin), on observera encore un moiré, mais bien entendu, les franges du moiré ne seront plus, en général, rectilignes comme dans le cas de deux réseaux identiques. Elles auront une forme quelconque et l'on comprend facilement que l'interprétation de ces franges puisse donner d'utiles renseignements sur la loi de déformation du support du premier réseau. Les figures 1 et 2, où les déformations sont considérablement exagérées, font comprendre le mécanisme de production du moiré.

Nous emploierons dans cet exposé les notations habituelles de la théorie de l'élasticité :

ε_x ε_y	allongements unitaires dans la direction des x et des y .
γ	cisaillement unitaire.
u v	composantes des déplacements élémentaires.

(1). P. Dantu — Comptes rendus Académie des Sciences — 20 décembre 1954.

R. Thiry et P. Dantu — Communication au IX^e Congrès International de Mécanique Appliquée — Bruxelles 1956.

RÉSUMÉ

La méthode a pour but une extensométrie continue, à deux et à trois dimensions, valable pour des extensions supérieures à 2.10^{-4} , c'est-à-dire dans le domaine de la plasticité et du fluage.

On utilise dans ce but l'effet de moiré produit par superposition d'un réseau imprimé sur le modèle et d'un réseau témoin. L'écartement de traits des réseaux varie de 0,1 à 0,2 mm.

Le procédé a été appliqué à la déformation de métaux et de matières plastiques. Le réseau pouvant, après impression photographique, être gravé à l'acide, la méthode est utilisable sur métal, même pour des déformations à haute température ou sous l'effet de chocs très violents.

Enfin, l'incorporation d'un réseau à l'intérieur d'un bloc de matière plastique transparente permet l'application à la plasticité et au fluage à trois dimensions. Cela permet également une variante de la méthode photoélastique du figeage.

SUMMARY

The object of the method is to give a two or three dimensional continuous extensometry, for extensions above 2.10^{-4} , i.e. in the range of plasticity and creep.

To obtain this results, the "moiré" effect produced by superimposition of a network printed on the test-piece and of a control network is used. The spacing of the lines of the networks varies from 0,039 à 0,0078 in.

The method has been applied to the deformation of metals and of plastics. Since the network after photographic impression may be acid etched, the method is utilisable on metals, even for deformations at high temperatures or under the effect of very violent impacts.

Finally, the incorporation of a network in the interior of a block of transparent plastic material allows the application to three dimensional plasticity and creep. This permits also an alternative to the photoelastic method of frozen stress.

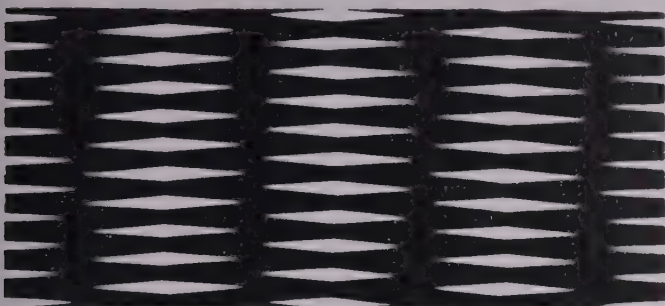


FIG. 1. — Production des lignes de moiré par deux réseaux identiques faisant entre eux un léger angle.

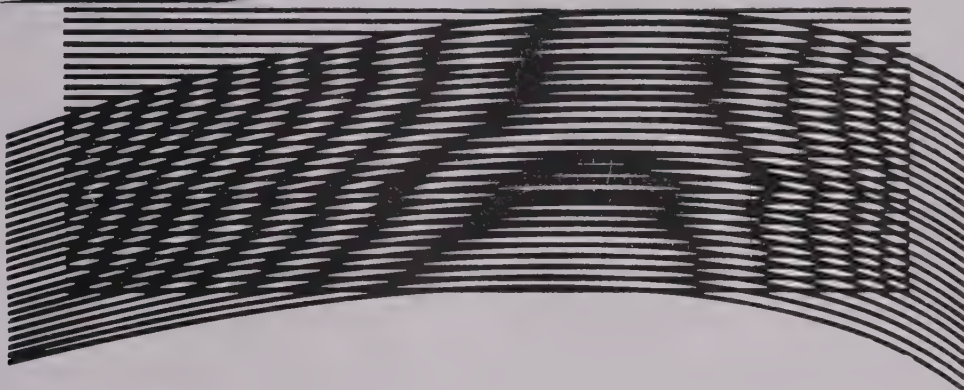


FIG. 2. — Schéma de la production des franges de moiré par un réseau déformé et un réseau témoin.

Considérons d'abord le cas très simple d'une déformation uniforme par une traction (ou une compression horizontale) ε_x est partout constant et γ est nul. Supposons que les réseaux aient leurs traits verticaux. Nous aurons une frange du moiré lorsqu'un trait du réseau témoin se placera dans l'intervalle de deux traits du réseau déformé. Si n est le nombre de traits du réseau témoin entre deux franges successives, le nombre correspondant de traits du réseau déformé sera $(n - 1)$ si ε_x est positif (traction) et $(n + 1)$ s'il est négatif (compression). C'est le mécanisme du vernier, mais avec une graduation microscopique.

Si e est le pas du réseau (écartement de deux traits consécutifs), on a (cas où ε_x est > 0) :

$$ne = (n - 1)e(1 + \varepsilon_x)$$

D'où en négligeant le terme en $e\varepsilon_x$:

$$n = \frac{1}{\varepsilon_x}$$

On aurait : $n = -\frac{1}{\varepsilon_x}$ si ε_x est < 0 , d'où la formule générale :

$$n = \frac{1}{|\varepsilon_x|}$$

L'écartement δ de deux franges consécutives est donc :

$$\delta = ne = \left| \frac{e}{\varepsilon_x} \right|$$

Prenons maintenant le cas général d'une déformation absolument quelconque, définie par les composantes u et v du déplacement en

chaque point. Supposons, par exemple, le réseau parallèle à Oy avant déformation. Les figures 1 et 2 montrent bien que les franges noires du moiré rejoignent les intersections des deux réseaux. Or, il y aura intersection de deux traits des réseaux en un point si la composante horizontale u du déplacement en ce point est égale à ne , n étant un entier quelconque.

On voit ainsi que les lignes de moiré sont les lignes de niveau de la fonction $u(x, y)$; elles représentent les variations de u exactement comme les courbes de niveau d'une carte géographique représentent les variations d'altitude aux différents points d'un terrain. En coupant la sur-

face fictive ainsi définie par un plan perpendiculaire au plan des réseaux et parallèle à Ox (ou à Oy), on aura par un rabattement les courbes de variation de u lorsque y (ou x) reste constant. Une détermination graphique de la tangente à ces courbes donnera les valeurs de

$$\frac{\partial u}{\partial x} \quad (\text{ou} \quad \frac{\partial u}{\partial y})$$

La figure 3 indique le schéma de ce processus.

Si on répète les mêmes opérations en partant d'un réseau parallèle à Ox , le moiré donnera les lignes de niveau de la composante v , suivant Oy , du déplacement et par

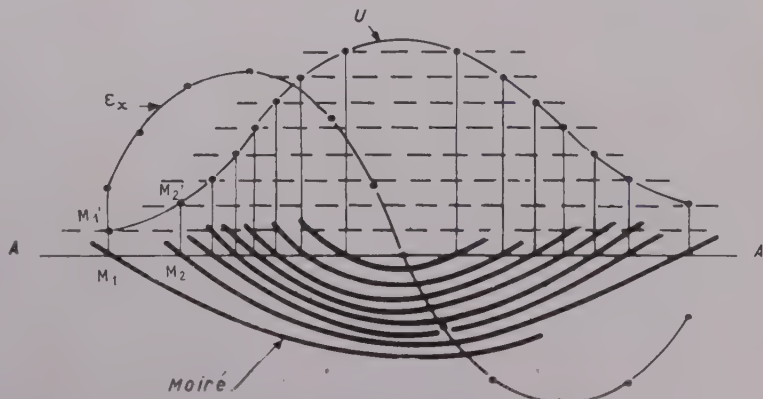


FIG. 3. — Schéma du procédé de dérivation graphique.

suite les valeurs de $\frac{\partial v}{\partial x}$, $\frac{\partial v}{\partial y}$. Les coefficients de la déformation pure et la rotation élémentaire seront alors donnés par les formules classiques.

On verra plus loin qu'il est possible de se passer de cette dérivation et d'obtenir directement les lignes de niveau de

$$\varepsilon_x, \varepsilon_y, \frac{\partial u}{\partial y} \text{ et } \frac{\partial v}{\partial x}$$

Réseaux croisés.

Si l'on imprime à la fois sur le modèle deux réseaux de même pas, l'un parallèle à Ox et l'autre à Oy , de manière à former un *quadrillage microscopique*, et si l'on super-

pose un réseau croisé témoin, on observera à la fois les deux familles de franges (lignes de niveau de u et de v).

Pour séparer ces deux familles, il suffit d'utiliser un réseau témoin ordinaire non croisé et de le placer successivement parallèle à Ox et parallèle à Oy . On observera ainsi successivement les deux familles de franges.

Première remarque.

Au lieu d'un réseau croisé, on peut imprimer le *négatif photographique* de ce réseau. Ce négatif est formé de points noirs situés aux mailles d'un quadrillage régulier. On observe également des moirés avec un tel réseau. Nous utiliserons plus loin cette remarque à propos de la gravure à l'acide d'un négatif pour certains usages particuliers.

Deuxième remarque.

Si l'on superpose le réseau croisé de pas e ou son négatif et un réseau témoin de pas $e\sqrt{2}$ en le plaçant à 45° des traits du réseau croisé, on aura encore un moiré qui sera formé des lignes de niveau de la composante u' du déplacement dans la direction normale au réseau témoin. La dérivation graphique obtenue à partir de ce moiré donnera le ε dans une direction à 45° . Par conséquent, les trois moirés, (réseau horizontal, vertical et à 45°) sont comme une infinité de *rosettes* qui donnent en chaque point

$$\varepsilon_0, \varepsilon_\pi \text{ et } \varepsilon_{\pi/4}$$

et ces trois moirés seront obtenus à partir d'un seul réseau croisé.

Pour fixer les idées, prenons quelques cas simples : figure 4.

On trouvera plus loin (p. 90) la démonstration de la formule de la pente des traits du moiré indiquée sur la figure 4.

Prenons maintenant un exemple plus complexe, celui de la flexion circulaire (domaine élastique).

$$\begin{cases} \varepsilon_x = Ky \\ \varepsilon_y = 0 \\ \gamma = 0 \\ u = Kxy \\ v = -\frac{K}{2}x^2 \end{cases}$$

Le moiré de u (réseau vertical) est donc formé d'hyperboles équilatères asymptotes aux axes xy et le moiré de v de droites verticales.

Points singuliers du moiré.

Ces points singuliers ne sont pas en rapport avec ceux du réseau des isostatiques. Un point singulier du réseau

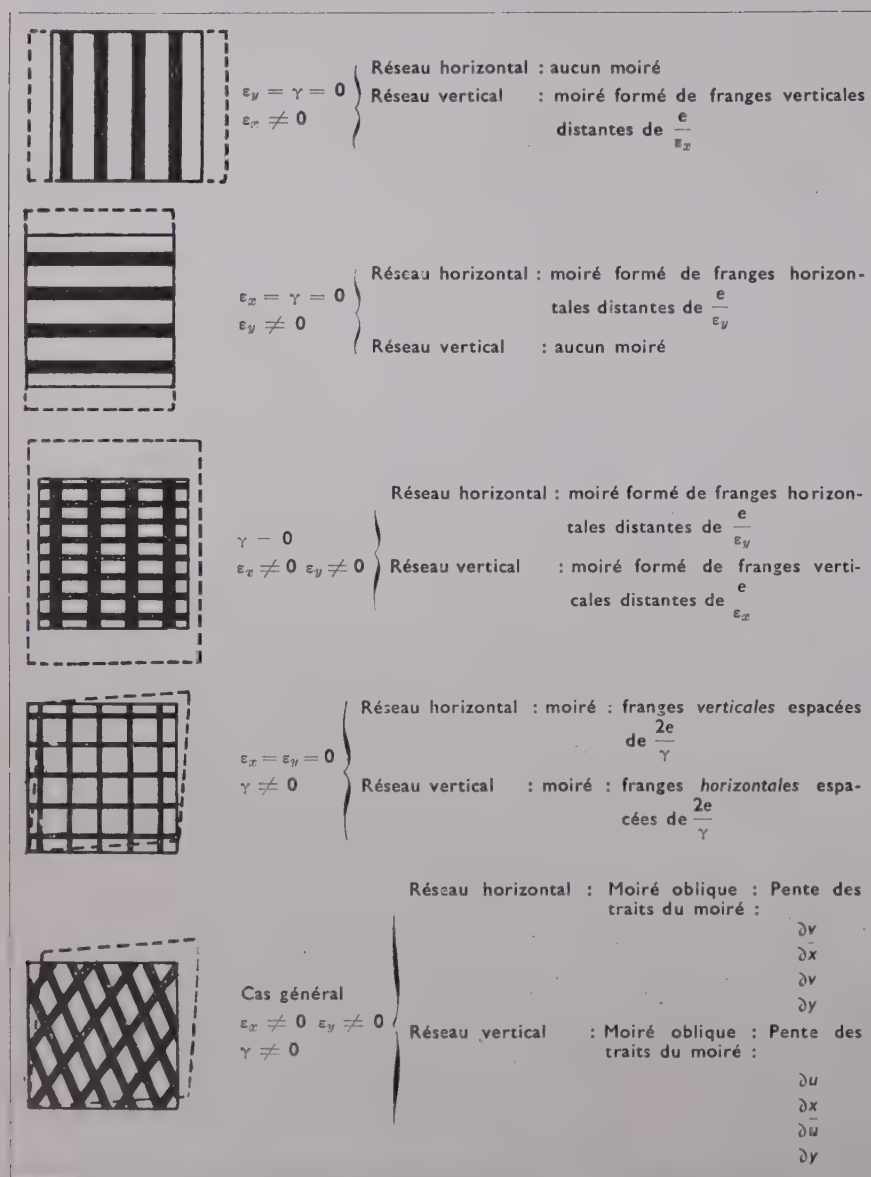


FIG. 4.

de u , par exemple, correspond à un « sommet » ou à un « col » de la surface représentative de u , c'est-à-dire à

$$\frac{\partial u}{\partial x} = \varepsilon_x = 0$$

$$\frac{\partial u}{\partial y} = 0$$

ou encore à un point conique, correspondant à une force isolée (fig. 5).

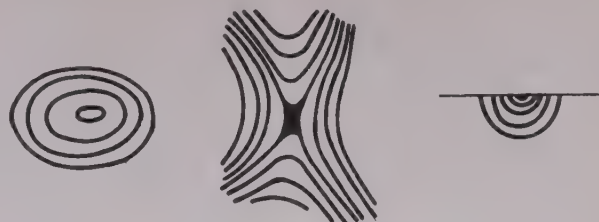


FIG. 5. — Points singuliers du moiré.

(1) sommet; (2) col; (3) pic.

II. — MODE OPÉRATOIRE — APPAREILLAGE

1° Réseaux.

Pour les réseaux de grand pas, on en obtient, sans difficulté, d'excellentes copies photographiques chez les photographeurs. Les plus fines trames dont ceux-ci disposent ont 200 traits par pouce, soit environ 8 traits par mm. Elles conviennent très bien pour les déformations plastiques assez importantes des métaux.

On pourrait songer à réduire photographiquement ces trames, mais on se heurte à de grosses difficultés dès qu'on dépasse la réduction $\frac{1}{2}$. Pour les réseaux de 20 à 50 traits, le mieux est donc de se procurer soit un réseau gravé sur verre et noirci, dont on prend ensuite autant de copies photographiques par contact que l'on veut, soit simplement une bonne copie photographique d'un réseau utilisé pour la spectroscopie (et à partir de cette copie on peut évidemment obtenir d'autres copies par contact).

La reproduction par contact nécessite une étude préalable. Des essais nombreux permettent de fixer le temps de pose, la durée du développement, etc., et l'on peut, en faisant varier ces facteurs, faire varier le rapport des blancs et des noirs dans la copie. (Il peut être utile, comme nous le verrons plus loin, d'avoir des réseaux où la largeur de l'intervalle blanc entre deux traits noirs consécutifs est beaucoup plus petite que la largeur des traits noirs).

2° Technique d'impression des réseaux.

Elle diffère pour les matières plastiques et pour les métaux.

a) Cas d'un métal.

a) 1. Premier procédé (impression directe).

Préparation du modèle. Pour ce premier procédé, le modèle (ou la plaque métallique dans laquelle il sera découpé) doit posséder des faces bien planes. Ces faces sont ensuite polies en évitant d'abattre les angles. Le degré de polissage dépend de la finesse des traits que l'on veut imprimer, les dimensions des aspérités résiduelles devant être très inférieures au pas du réseau.

Impression de la trame. La face est alors finement dépolie à l'acide, puis une couche photographique, formée d'une laque spéciale, y est déposée. On y reproduit par contact un réseau de pas convenable. Ces trois dernières

phases de l'impression ont été jusqu'à ce jour faites par des photographeurs munis d'un matériel spécialisé, particulièrement adapté à ce travail, mais il serait facile de s'équiper d'un matériel analogue quoique plus modeste, et peu onéreux.

La couche photographique est une sorte de laque qui adhère très fortement au métal et peut subir les plus grandes déformations sans se rompre ou se décoller. Sur les parties non impressionnées de cette laque, le métal est à nu et peut être même creusé avec un acide sans action sur la laque impressionnée. C'est un très gros avantage pour certaines études, car les « alvéoles » ainsi produites sur le modèle forment un *négatif* parfait de la trame. On peut alors enlever le reste de la laque à l'aide d'un solvant et l'on dispose d'un modèle avec une trame imprimée en creux, d'où possibilités d'étudier des pièces soumises à des *chocs très violents* (projectiles) ou à des *températures élevées*, sans risque d'une altération de cette trame.

a) 2. Deuxième procédé (transposition de couche).

Il suffit de posséder une copie sur verre d'un bon réseau. On en fait des copies par contact sur du *film pelliculable* employé dans les Arts graphiques; le film « Kodalith stripping » des Etablissements Kodak convient parfaitement. Il se développe dans un révélateur spécial. Le rinçage ne doit pas excéder une demi-heure sous peine d'obtenir parfois un pelliculage anticipé.

Après séchage du film, il suffit de le coller, gélatine contre métal, à l'aide d'araldite D ou M sur le modèle, avec une orientation convenable des traits du réseau, et en prenant soin de bien chasser l'excès de colle de façon à en avoir une couche aussi mince et régulière que possible; pour cela, il est recommandé d'appliquer sur le film une feuille de caoutchouc assez mou et de charger progressivement avec une semelle métallique rigide. Une pression d'environ 1 kg/cm² pendant vingt-quatre heures semble donner de bons résultats. Ensuite on décharge, on enlève les bavures d'araldite polymérisée et on découpe la trame de façon à ne conserver que la partie collée sur le modèle. On peut alors enlever sans difficulté le support du film, et seule l'émulsion reste collée au métal.

Ce procédé est évidemment accessible sans matériel particulier et il est d'une facilité très grande de mise en œuvre. Un inconvénient est le peu de contraste du

moiré obtenu par réflexion. On peut obtenir un contraste très satisfaisant en pulvérisant sur la gélatine avant collage, une très fine couche de peinture plastique blanche (pyroflex).

L'araldite qui sert de colle ne suit pas les grandes déformations, ce qui est un autre inconvénient auquel on peut facilement remédier en lui ajoutant un plastifiant (par exemple, 5 % de tricrésylphosphate).

b) Cas d'une matière plastique.

Le premier procédé (*impression directe*), exposé pour le cas d'un métal est peut-être applicable à de nombreuses matières plastiques. Nous ne l'avons essayé que pour l'araldite; les résultats furent satisfaisants. Dans ce cas, il n'y avait aucun traitement spécial des faces du modèle. Il était confié au photographeur simplement plan et poli.

Le deuxième procédé (*transposition de couche*) peut être utilisé sans difficulté. On collera le film pelliculable comme dans le cas du métal, sur le modèle en matière plastique à l'aide d'une colle convenable. Il n'est du reste pas toujours facile de trouver une colle adhérent bien sur le modèle ainsi que sur l'émulsion. Le problème est à résoudre pour chaque matière plastique. Dans le cas des araldites, la solution est aisée, car les araldites D ou M utilisées à froid comme colles adhèrent fortement à l'émulsion des films « Kodalith ».

Nous verrons plus loin la technique spéciale pour les études à trois dimensions.

3° Production et photographie du moiré.

On peut opérer de trois manières différentes :

a) Simple contact.

On applique le réseau témoin contre le modèle déformé et on photographie directement le moiré. Dans ce cas, il importe que le réseau témoin soit imprimé sur *plaque* et non sur film, car le défaut de planéité entraîne des modifications du moiré.

Le contact direct convient pour les modèles dont la déformation n'est pas trop grande, de telle manière que la déformation transversale par effet de Poisson reste relativement petite.

b) Appareil spécial (fig. 6)

Nous avons fait construire un appareil, dérivé des appareils courants de photogravure, et dont le principe est le suivant : un appareil photo de très grand format (châssis 50 cm × 50 cm, tirage maximum de la chambre 270 cm) muni d'un objectif apochromatique, est placé sur un banc gradué, ainsi qu'un dispositif porte objet. Le châssis, le porte objectif et le porte objet, peuvent prendre des mouvements indépendants sur le banc, et leurs positions peuvent être repérées avec précision au moyen de repères mobiles à vernier. Les mouvements sont commandés de l'arrière par un jeu de manivelles. On peut également commander de l'arrière le mouvement vertical et horizontal de l'objectif.

Le porte objet est spécialement étudié pour permettre, au moyen de trois vis mobiles, le repérage du plan du réseau témoin ou de celui du réseau déformé. On peut ainsi enlever le modèle après l'avoir photographié et placer le réseau témoin exactement dans le plan du réseau déformé, ou d'une partie de ce réseau. Par ailleurs, le porte objet présente une possibilité de rotation du modèle ou du réseau témoin autour d'un axe quelconque, ce qui permet de l'amener facilement dans une position voulue.

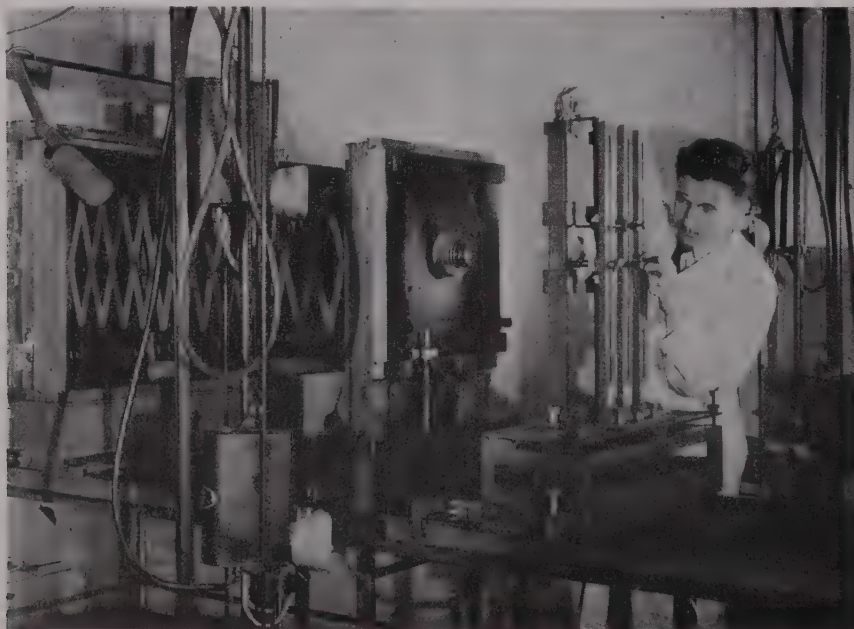


FIG. 6. — Appareil.

L'éclairage de l'objet est réalisé par 2 lampes à arc. Pour les modèles métalliques, l'éclairage se fait par réflexion. Pour les modèles en matière plastique transparente, on place un écran blanc derrière le modèle et c'est cet écran qui est fortement éclairé par les lampes à arc, de manière à ce que le modèle soit éclairé par transparence en lumière diffuse.

Cet appareil permet de faire des photos des réseaux avec un agrandissement quelconque. On fait sur film une photo agrandie du réseau déformé, et c'est sur ce film, qui peut avoir de grandes dimensions, que l'on superpose le réseau témoin, agrandi sur film avec le même coefficient d'agrandissement. Bien entendu, il n'est pas en général nécessaire de faire pour chaque étude un agrandissement photographique du réseau témoin. Il suffit de faire une fois pour toute cet agrandissement.

On peut également placer l'agrandissement du réseau témoin contre le verre dépoli du châssis et l'on observe directement le moiré produit par superposition du réseau témoin et de l'image du réseau déformé. Ce procédé est commode car, si l'on déplace le châssis dans la limite de la profondeur du champ, cela revient à faire varier légèrement le pas du réseau déformé par rapport à celui du réseau témoin. Le moiré se modifie considérablement et l'on peut se servir de cet effet comme nous le verrons plus loin (p. 90).

III. — EXEMPLES D'APPLICATION

1° Matières plastiques.

La figure 7 montre le moiré obtenu avec une petite plaque carrée d'araldite de $7 \times 7 \times 1,5$ cm pressée axialement. Le réseau était de 50 traits par mm et le moiré correspond à un réseau témoin horizontal (lignes de niveau de v). On voit que les franges sont très nettes et très serrées et permettent une excellente analyse de la déformation. L'agrandissement de la partie voisine de la charge (fig. 8) montre que même lorsque les franges du moiré sont très serrées, elles restent très bien définies (on peut photographier des franges écartées de 1/10 mm), ce qui permet une micro-analyse des extensions.

Pour les matières plastiques, la limite élastique étant généralement élevée, on peut, avec des réseaux de 50 traits par mm, obtenir des franges même pour des déformations élastiques. Mais ce n'est pas, à notre avis, le domaine normal d'application de la méthode, qui n'a nullement la prétention de concurrencer la photoélasticité, du moins à deux dimensions. Pour les trois dimensions, au contraire, comme nous le verrons plus loin, la méthode du figage donne, à notre avis, de meilleurs résultats avec le moiré qu'avec la photoélasticité. Nous reviendrons en détail sur cette question.

Nous avons appliqué la méthode à la *déformation jusqu'à rupture d'une plaque d'araldite mise en traction*. La plaque avait les dimensions indiquées sur le croquis et elle supportait une charge de 300 kg. Un réseau croisé de 20 traits par mm était imprimé sur une de ses faces, un réseau témoin croisé imprimé sur une plaque de verre était placé contre l'éprouvette à étudier, et le moiré était cinématographié pendant le fluage (10 minutes environ) jusqu'à rupture.

La figure 9 est un moiré extrait du film, peu de temps avant la rupture. On aperçoit la double famille de franges

c) Observations ponctuelles.

Une autre possibilité que nous n'avons pas encore eu le temps d'explorer sérieusement consiste à placer dans le réticule d'une lunette un petit élément de réseau et de viser un point M quelconque du modèle déformé avec cette lunette. En faisant coïncider par une mise au point convenable les images virtuelles du réseau témoin placé dans le réticule et de la zone du modèle entourant le point visé M, on observe un moiré qui, si le gradient des extensions en M n'est pas trop élevé, est formé de franges sensiblement rectilignes, parallèles et équidistantes, puisque dans la petite zone observée les extensions sont à peu près uniformes.

L'inclinaison et l'écartement des franges de ce moiré élémentaire, ainsi que le moiré obtenu en faisant tourner la lunette de 90° autour de son axe, donnent, par un calcul simple, les valeurs de ε_x , ε_y et γ au point considéré. On peut bien entendu, répéter l'opération en autant de points que l'on veut.

Ce procédé peut présenter de gros avantages dans certains cas. Nous en avons reconnu la possibilité expérimentale par un essai sommaire, mais nous n'en avons pas poussé plus loin la réalisation.

REMARQUE. — La méthode s'applique également aux surfaces non planes pourvu qu'elles soient *développables*. On peut en effet sans difficulté imprimer le réseau sur une surface conique ou cylindrique par exemple.

puisque le réseau témoin était croisé. Il n'y a aucune striction, mais les déformations sont concentrées autour de petites fissures. Ces fissures paraissent très épaisses sur la photo parce qu'elles sont obliques par rapport au plan de la plaque.

L'étude de la *progression dans le temps d'un phénomène de fluage* nous paraît un domaine très intéressant d'application de la méthode. En effet, en raison de son caractère purement géométrique, il n'y a pas à craindre de dérive des appareils de mesure. Dans l'étude ci-dessus, la photoélasticité n'aurait donné que de très grossières indications qualitatives. Les franges en lumière polarisée étaient très confuses et pour ces grandes déformations, la biréfringence ne suit pas une loi linéaire.

2° Métaux.

Nous nous sommes bornés à quelques exemples simples de déformation plastique de dural et acier avec des réseaux à 8 traits par mm.

Les figures 10 et 11 représentent les moirés obtenus avec un anneau et un carré de dural comprimés axialement.

On trouvera sur la figure 12 les moirés avec réseau témoin vertical et horizontal d'un petit barreau de dural de 3 cm de hauteur, fortement fléchi.

La figure 13 montre le moiré obtenu avec réseau témoin dont les traits, au lieu d'être verticaux, sont perpendiculaires à l'une des parties non déformée du barreau. Il n'y a évidemment pas de moiré dans cette partie non déformée. Dans la partie symétrique qui, elle aussi, n'a pas subi d'extension, le moiré est formé de droites parallèles et équidistantes. En effet, le réseau imprimé sur le métal est identique au réseau témoin, mais fait avec celui-ci un petit angle; nous avons vu plus haut que,



FIG. 7. — Déformation plastique d'une plaque d'araldite de $70 \times 70 \times 15$ mm.
Réseau horizontal cinquante traits par mm.

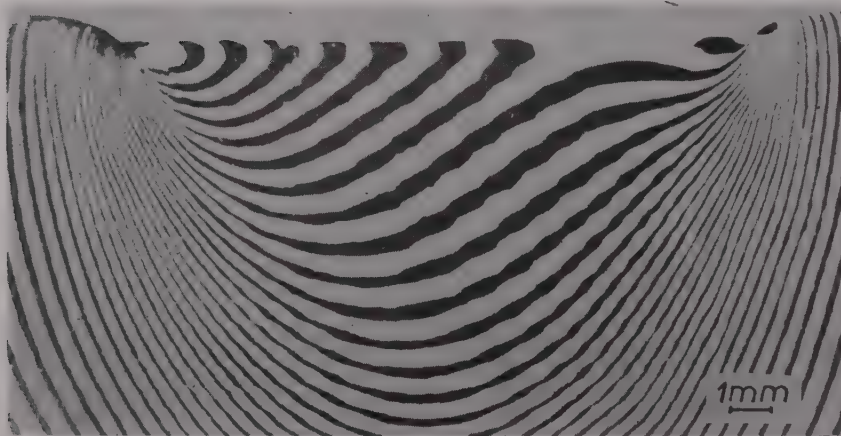


FIG. 8. — Agrandissement de la figure 7. Partie voisine de la charge.

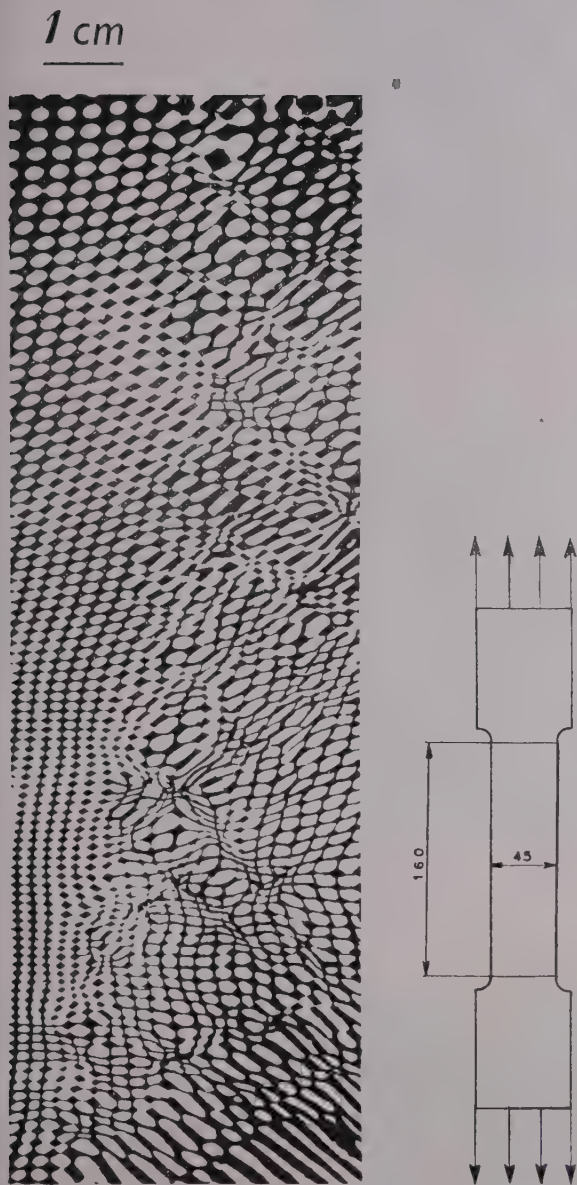


FIG. 9. — Étude de fluage jusqu'à rupture d'une plaque d'araldite. Réseau croisé vingt traits par mm. On aperçoit les deux familles du moiré.

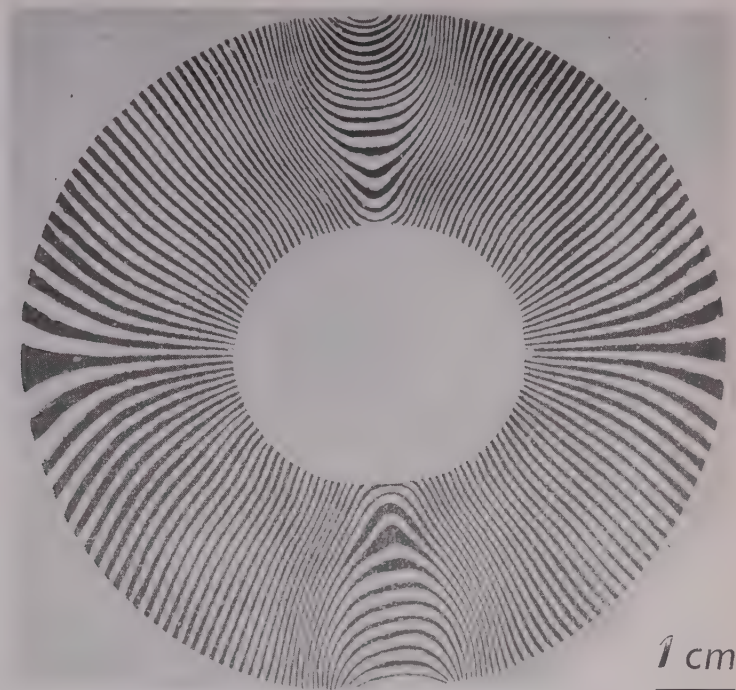


FIG. 10. — Anneau de dural pressé. Réseau croisé huit traits par mm. Réseau témoin horizontal.

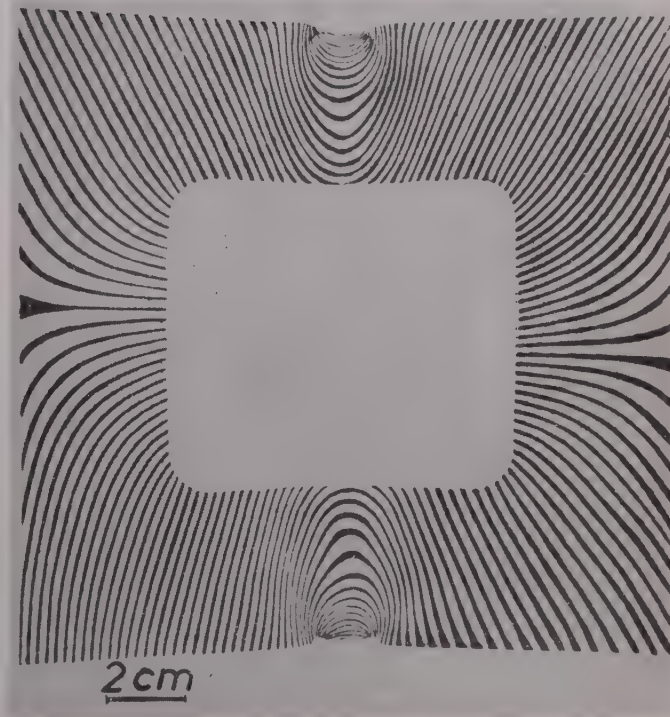


FIG. 11. — Carré de dural pressé. Réseau croisé huit traits par mm. Réseau témoin horizontal.



FIG. 12 a. — Petite poutre de dural fléchie.

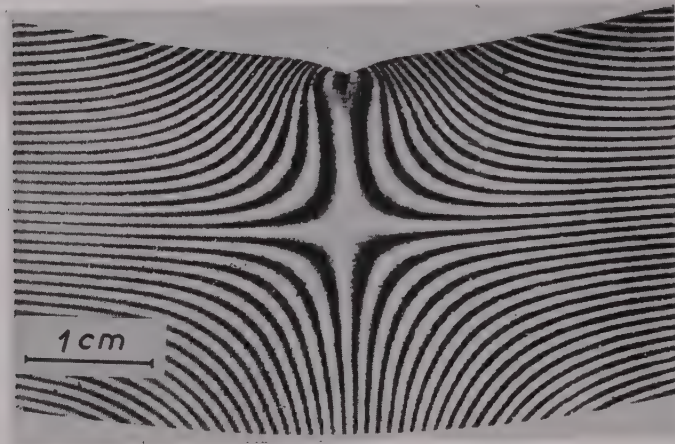


FIG. 12 b. — Réseau témoin horizontal et vertical huit traits par mm.

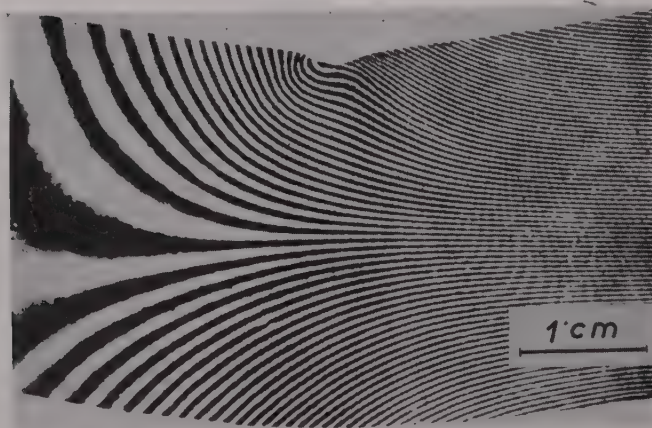


FIG. 13. — Même poutre que figure 12. Réseau témoin perpendiculaire à l'une des parties non déformée du barreau.

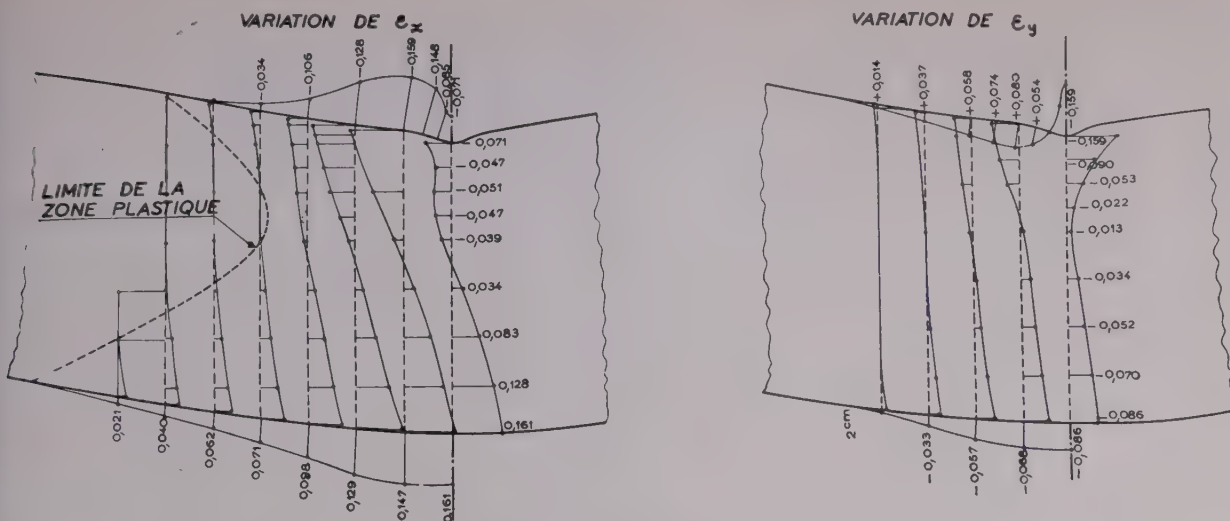


FIG. 14. — Graphique d'extension dans la poutre de dural fléchée.

dans ce cas, le moiré est formé de droites perpendiculaires à la bissectrice de l'angle formé par les traits des deux réseaux. Dans la partie centrale déformée, on aperçoit un moiré, différent du moiré obtenu avec le réseau vertical. Nous verrons plus loin (p. 91) à propos de la rotation du réseau témoin, que le mécanisme d'interprétation par dérivation graphique reste exactement le même. La forme des franges change, mais leur distance mutuelle, mesurée le long d'une horizontale, reste la même.

On trouvera figure 14 les graphiques d'extensions donnés par l'interprétation du moiré.

Ces moirés sur métaux, ont été réalisés avec des réseaux peu serrés (8 traits par mm) car les déformations étaient grandes. On pourrait, bien entendu, pour de plus faibles déformations, obtenir des résultats comparables avec des réseaux plus fins.

Une application de caractère industriel a été faite tout récemment en utilisant un réseau de 16 traits par mm.

IV. — ÉTUDES A TROIS DIMENSIONS

Nous avons réussi à généraliser l'application de la méthode aux études d'élasticité et de plasticité à trois dimensions en incorporant un réseau à l'intérieur d'un modèle en matière plastique transparente.

Cette incorporation se fait de la manière suivante : On prend un bloc de matière plastique dans lequel sera taillé le modèle et on scie ce bloc à la scie mécanique en deux parties, de telle manière que les faces sciées soient bien planes.

Sur l'une de ces faces, on colle un film pelliculable (stripping film) suivant la technique exposée plus haut (p. 82), en pressant assez fortement pour que le film de colle soit très mince. Quand la colle est sèche, on enlève le support, et il reste seulement la gélatine. Après cette opération, on nettoie en arrosant abondamment à l'acétone l'émulsion ainsi collée. Le film pelliculable est en

Une utilisation intéressante de la méthode est l'étude de déformations de métaux dans des conditions où aucun autre extensomètre ne peut résister, c'est-à-dire le cas de chocs très violents ou de températures élevées. Nous avons montré au chapitre des techniques d'impression, qu'il était facile, par une morsure à l'acide, de graver dans le métal le négatif du réseau. Dans le cas d'un réseau croisé, ce négatif se présente sous la forme de points situés aux mailles d'un quadrillage. Nous avons fait un essai en 1955 pour un problème de déformation d'une plaque de blindage ayant reçu l'impact d'une balle tirée obliquement. Un réseau croisé à 8 traits par mm a été imprimé sur les deux faces de la plaque, puis les deux réseaux ont été soumis à l'acide, et enfin la laque photographique a été enlevée. Il n'est resté qu'une série de points gravés en creux à raison de 64 points par mm². Alors que n'importe quel vernis aurait éclaté sous le choc, les points gravés restent parfaitement visibles après déformation, et donnent un très bon moiré si l'on superpose un réseau témoin. Les points restaient même visibles dans certaines parties de la surface d'impact de la balle, qui avait ricoché sur le métal.

effet constitué de trois couches successives. Le support (que l'on enlève), une membrane très mince (soluble dans l'acétone), enfin l'émulsion déjà collée. Le nettoyage à l'acétone a pour but de dissoudre cette membrane. Il ne reste plus qu'à coller la seconde partie du modèle sur la première pour obtenir un bloc reconstitué contenant dans un plan intérieur le réseau sur gélatine. On pourra ensuite usiner le modèle dans ce bloc de manière que le réseau soit dans le plan désiré du modèle.

La seule hétérogénéité introduite ainsi à l'intérieur du bloc est constituée par la couche de gélatine, d'épaisseur négligeable et le film de colle qui peut être très mince.

Nous avons seulement appliqué ce procédé avec l'araldite (et dans ce cas la colle était aussi de l'araldite), mais il pourrait sans doute également être appliqué avec d'autres matières plastiques transparentes.

L'application en a été faite à l'élasticité et à la plasticité à trois dimensions.

1° Élasticité à trois dimensions.

On connaît le procédé par figéage utilisé en photoélasticité : ce procédé utilise la propriété de certaines matières plastiques, telles que l'araldite et la bakélite, de prendre à chaud, vers 80 à 100°, des déformations réversibles importantes, un peu comme du caoutchouc. On charge le modèle à chaud, on le laisse refroidir sous charge. On peut alors enlever les charges sans modifier les déformations. Celles-ci sont dites figées. Si ensuite on découpe avec soin une tranche mince dans chaque modèle figé, on peut, par observation photoélastique, mesurer les contraintes dans cette tranche. La séparation des contraintes se fait en incidence oblique.

Si l'on incorpore un réseau croisé dans un plan du modèle à étudier, on peut aussi, après figéage des déformations, scier une tranche de part et d'autre du réseau et mesurer les déformations par le procédé du moiré.

Les avantages, par rapport à la photoélasticité, sont les suivants :

a) On peut se limiter à des déformations deux à cinq fois plus faibles que les déformations que l'on est obligé de donner aux modèles de photoélasticité à trois dimen-

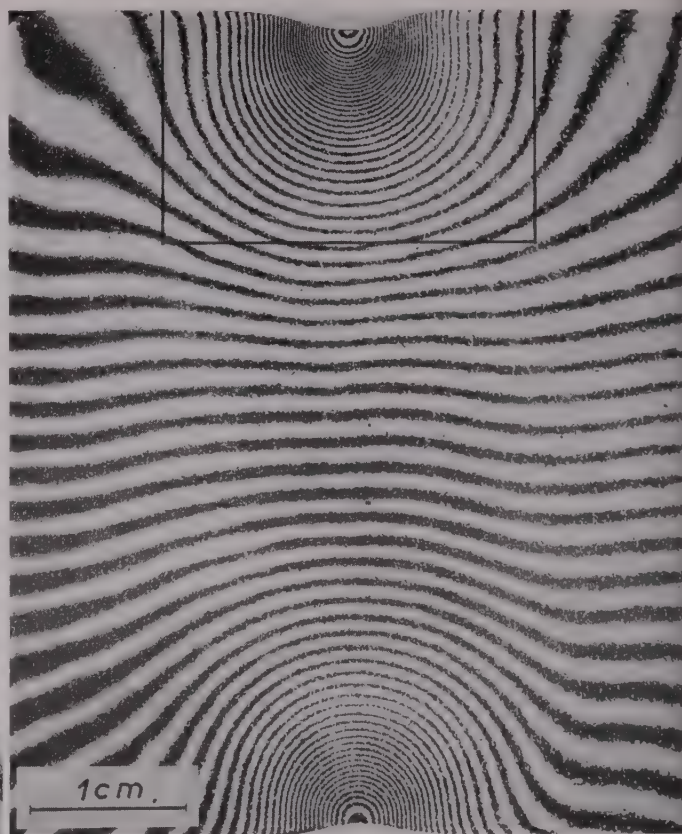


FIG. 16. — Cylindre d'araldite de mêmes dispositions que celui de la figure 15. Même réseau. Déformation élastique à chaud et figée.

sions pour avoir une biréfringence suffisante dans une tranche mince. L'amplitude de ces déformations a toujours été jugée comme un obstacle à la méthode, de telle sorte qu'on n'espère obtenir qu'une précision très grossière en photoélasticité par figéage, car bien que les déformations soient réversibles, elles sont si importantes que l'on s'éloigne des conditions du problème. Au contraire, même avec des déformations relativement faibles, on obtient un grand nombre de franges du moiré.

b) La séparation des contraintes, qui est toujours un problème difficile en photoélasticité, nécessite dans le figéage, des opérations et mesures délicates. Au contraire, cette séparation se fait très facilement avec le moiré.

c) On mesure les extensions dans un plan et non pas leur moyenne dans l'épaisseur d'une tranche.

2° Plasticité à trois dimensions.

Le même procédé permet de mesurer les extensions dans un plan intérieur d'un modèle déformé plastiquement. Si le sciage de la tranche est fait lentement et avec les mêmes précautions que dans le procédé du figéage, on ne modifie pas les déformations.

A titre d'exemple, donnons l'étude d'un cylindre comprimé axialement par deux billes d'acier. Nous avons réalisé un modèle d'araldite de 5,1 cm de hauteur et de 4,4 cm de rayon, avec un réseau croisé de 20 traits/mm dans un plan axial. Le moiré avait été étudié après sciage d'une tranche.

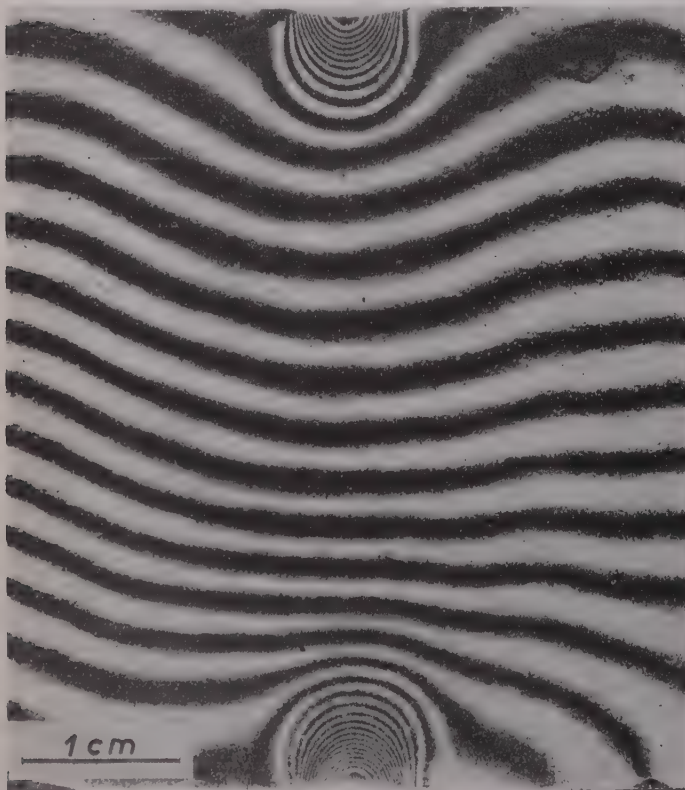


FIG. 15. — Étude à trois dimensions. Cylindre d'araldite de 44 mm de rayon et 51 mm de hauteur pressé axialement par deux billes d'acier. Déformation plastique à froid. Réseau croisé de vingt traits par mm placé dans un plan axial. Moiré avec réseau témoin horizontal.



FIG. 17. — Détail agrandi de la figure 16 montrant le grand nombre de franges au voisinage de la charge.

L'étude a été faite en déformation plastique (à froid) et en déformation élastique (à chaud — figeage). Les figures 15, 16 et 17 représentent l'aspect du moiré obtenu avec un réseau témoin horizontal. Dans la déformation plastique, on voit très nettement la limite de la zone plastique. Pour la déformation élastique figée, on aurait pu se limiter à une déformation plus faible, le nombre de franges aurait largement été suffisant.

Il est également possible d'éviter le sciage, aussi bien pour les modèles figés que pour les modèles déformés plastiquement en plaçant le modèle dans un liquide de même indice et en photographiant la trame par transparence (fig. 18). Ce procédé a le gros avantage de permettre de suivre dans le temps les phénomènes de fluage à trois dimensions.

Notons que si l'on incorpore trois réseaux dans des plans parallèles, on peut, sans découper le modèle, photographier les trois trames séparément. Soit, par exemple (fig. 18) un modèle contenant trois réseaux parallèles numérotés (1) (2) et (3) et baigné dans un liquide de même indice. On photographie les réseaux (1) et (3) en plaçant l'appareil photo successivement à droite et à gauche du modèle, et on photographie le réseau (2) par un simple changement de mise au point. L'expérience montre que la présence du réseau (1) entre l'appareil

photo et le réseau (2) ne gêne pas pour photographier le réseau (2).

Cela peut être précieux pour suivre la déformation plastique ou de fluage d'une pièce d'épaisseur uniforme. C'est en principe un problème à deux dimensions, mais en réalité il est très possible que la déformation de surface soit différente de la déformation interne, par suite de phénomènes de peau. On pourra donc placer deux réseaux sur les deux faces et un troisième dans le plan moyen.

Notons enfin qu'il est possible de placer à la fois des réseaux dans deux plans perpendiculaires entre eux, ce qui, combiné avec la faculté d'observer dans trois plans parallèles, permet une grande gamme de possibilités.

Le procédé qui consiste à observer dans l'épaisseur, sans découper le modèle, ne nous a pas donné des résultats très satisfaisants avec des modèles en araldite D, les seuls dont nous ayons poussé l'étude. Cette araldite, en effet, produit pendant sa polymérisation des filaments qui n'ont pas le même indice de réfraction que le reste de la matière et qui par conséquent troublent l'image du réseau. Le plexiglas n'a pas cet inconvénient, mais, par contre, présente de grosses difficultés pour le collage. Comme on n'est nullement limité dans le choix de la matière plastique, pourvu qu'elle soit transparente, il est à peu près certain qu'il est possible de trouver des matières convenant pour ces essais.

Nous continuons les recherches dans cette voie. Une difficulté provient de la biréfringence de la matière plastique déformée, qui peut introduire, si la matière utilisée est très fortement photoélastique, un dédoublement apparent des traits du réseau dans les zones très déformées. Des essais systématiques ont montré que cet inconvénient n'est nettement sensible qu'avec des matières à coefficient photoélastique très élevé et n'empêche pas la visualisation d'ensemble de la déformation. La biréfringence peut seulement conduire à des corrections dans les zones très déformées. Cet inconvénient peut être rendu négligeable en utilisant des matières plastiques peu biréfringentes.

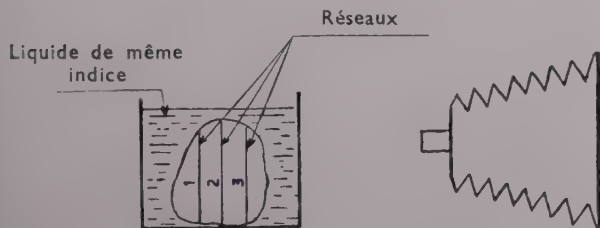


FIG. 18. — Dispositif pour étude à trois dimensions.

V. — TRACÉ DIRECT DES LIGNES DE NIVEAU DE ε_x , ε_y et γ .

On peut éviter les dérivations graphiques et tracer directement les lignes de niveau de ε_x , ε_y et γ par divers artifices. Nous les décrirons en détail, car ils apportent en outre un utile complément à la théorie du moiré.

1° Variation de la période du réseau témoin.

Supposons qu'on superpose le réseau déformé et un réseau témoin de période $e' = e(1 + \lambda)$, λ étant positif ou négatif, mais *petit* en valeur absolue. Considérons par exemple le réseau vertical (moiré de u).

On peut passer du réseau témoin au réseau déformé par deux transformations successives :

1) une affinité de rapport $\frac{e}{e'} = \frac{1}{1 + \lambda} = 1 - \lambda$ en supposant négligeables les termes en λ^2 ;

2) un déplacement u correspondant à la déformation.

L'affinité $\frac{e}{e'}$ est équivalente à un déplacement fictif $u' = -\lambda x$, et l'on est donc ramené au cas d'un réseau e' ayant subi une déformation totale définie par :

$$U = u + u' = u - \lambda x$$

Les franges du nouveau moiré seront les lignes de niveau de la fonction $U(x, y)$ avec intervalle e' entre deux lignes de niveau successives.

En dérivant par rapport à x , on trouve :

$$\varepsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x} = \frac{\partial U}{\partial x} + \lambda.$$

On pourra donc interpréter ce moiré sans aucune difficulté par dérivation graphique en ajoutant aux résultats obtenus le terme constant λ .

On peut aussi s'en servir pour le tracé des courbes de niveau de ε_x .

Commençons par calculer la pente de la normale à une frange de moiré. Soit M un point d'une frange pour

un réseau vertical (moiré de u) et φ l'angle que fait la normale en M avec l'horizontale. Menons par M les parallèles aux axes ox et oy et soient M' et M'' les intersections avec la frange immédiatement voisine. On a évidemment (fig. 19) :

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{MM'}{MM''}.$$

D'après la théorie générale de l'interprétation du moiré, on a :

$$u(M') - u(M) = MM' \frac{\partial u}{\partial x} = e.$$

D'où :

$$MM' = \frac{e}{\frac{\partial u}{\partial x}}.$$

De même :

$$MM'' = \frac{e}{\frac{\partial u}{\partial y}}.$$

D'où :

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\frac{\partial u}{\partial y}}{\frac{\partial u}{\partial x}}.$$

En particulier, les points où la tangente est horizontale correspondent à $\varphi = \pm \frac{\pi}{2}$, c'est-à-dire à $\frac{\partial u}{\partial x} = 0$, et les

points à tangente verticale à $\frac{\partial u}{\partial y} = 0$. Si, au lieu du moiré obtenu avec le réseau témoin de même pas, il s'agit du moiré obtenu avec le réseau témoin $e(1 + \lambda)$ (moiré de U), la formule précédente donne la pente de la normale au nouveau moiré en remplaçant u par U .

Reprenons maintenant la formule qui donne ε_x dans le moiré obtenu avec un réseau témoin $e(1 + \lambda)$:

$$\varepsilon_x = \frac{\partial U}{\partial x} + \lambda.$$

On aura donc : $\frac{\partial U}{\partial x} = 0$ si :

$$\varepsilon_x = -\lambda.$$

Or les points où $\frac{\partial U}{\partial x} = 0$ sont, comme nous l'avons vu, les points à tangente horizontale des franges du moiré. On a donc de façon immédiate le lieu géométrique des points où ε_x a une valeur constante (V. fig. 20).

En faisant varier λ , c'est-à-dire en disposant d'une série de réseaux témoins, tels que le facteur λ varie de façon régulière, on aura une série de lignes de niveau de ε_x .

Par exemple, si ε_x varie de $-0,1$ à $+0,1$, on pourra prendre dix valeurs de λ espacées de $0,02$ et l'on aura autant de courbes de niveau.

On pourra opérer de la manière suivante :

Nous avons vu plus haut à propos de l'appareillage (p. 83), qu'on pouvait faire apparaître le moiré sur le

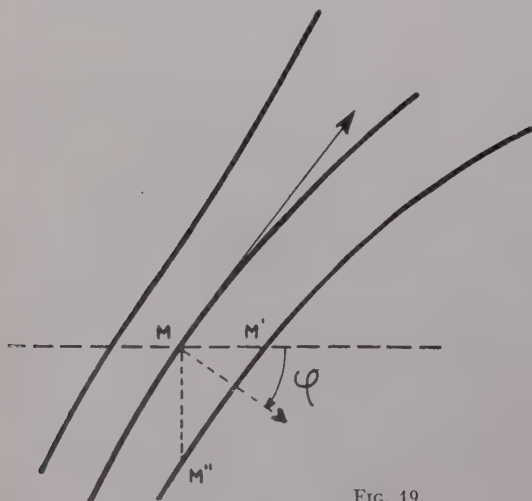


FIG. 19.

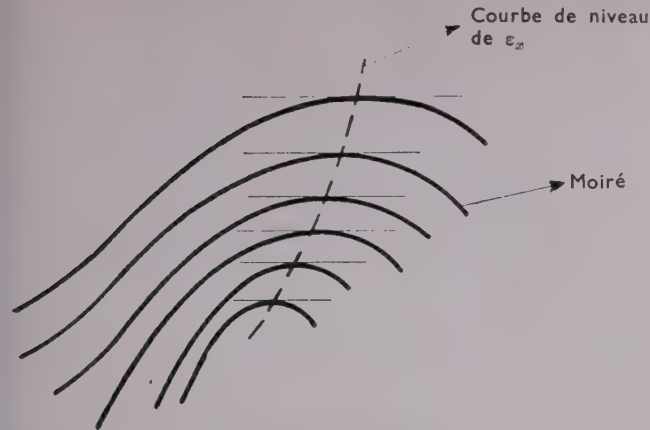


FIG. 20. — Tracé d'une ligne de niveau de ε_x à partir du moiré obtenu avec un réseau de pas : $e(1 + \lambda)$.

verre dépoli de l'appareil photo en plaçant un réseau contre ce dépoli. Si l'on déplace le châssis supportant le verre dépoli, tout en restant dans les limites de la profondeur de champ de l'objectif, cela revient à faire varier le rapport entre le pas de l'image du réseau déformé et le pas du réseau témoin, et cette variation est facile à calculer puisque l'appareil est conçu de manière à avoir un repérage précis de la position du modèle, du centre optique de l'objectif et du châssis.

Si le mouvement du châssis dans les limites de la profondeur de champ de l'objectif n'est pas suffisant, on peut, bien entendu, déplacer l'objectif lui-même et le châssis et obtenir ainsi un rapport quelconque d'agrandissement du réseau déformé.

On peut donc ainsi obtenir facilement les lignes de niveau de ε_x . Évidemment on aura celles de ε_y avec le moiré de v .

L'observation des moirés obtenus avec le réseau témoin $e(1 + \lambda)$ présente également un intérêt, même si on opère par dérivation graphique. En effet, l'espacement des franges varie beaucoup avec λ . Cet espacement peut, pour une même valeur de λ , augmenter dans certaines zones et diminuer dans d'autres, ce qui permet d'augmenter les points de mesure, si l'on opère par dérivation graphique.

Par exemple, la figure 21 représente deux moirés obtenus sur une plaque d'acier trouée recouverte d'un réseau croisé à 8 traits par mm et étirée. Le premier moiré a été obtenu avec un réseau témoin de même pas et le deuxième moiré avec un réseau témoin de pas 6 % plus grand que celui du modèle. On voit que dans le premier, les franges sont très serrées, sauf entre les trous, tandis que dans le second les franges entre les trous sont plus serrées.

On verra plus loin (p. 94) une autre application du réseau témoin $e(1 + \lambda)$ pour augmenter la précision des mesures.

2° Rotation du réseau témoin.

Supposons qu'on utilise un réseau témoin de même pas e que le réseau déformé, mais que l'on tourne ce réseau témoin d'un petit angle α .

Supposons que le réseau témoin ait été d'abord vertical (moiré de u).

Pour passer du réseau incliné de α au réseau déformé, il faudra deux transformations successives :

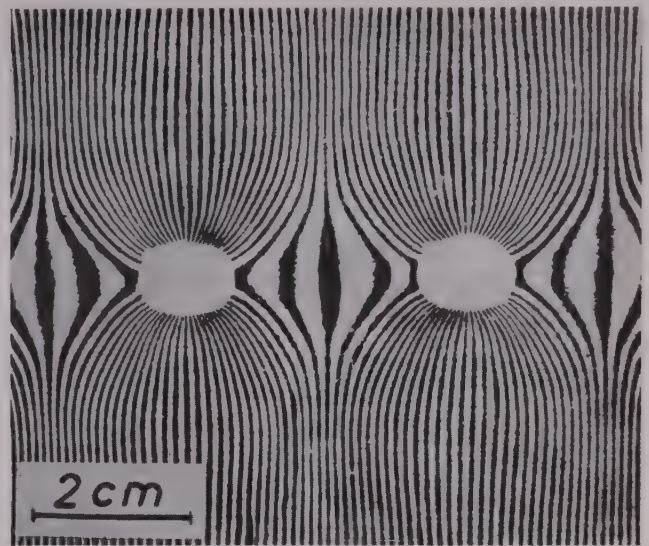


FIG. 21a.

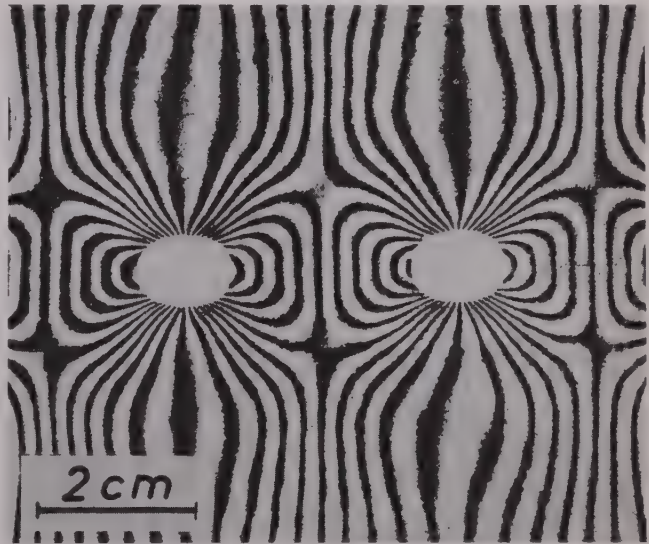


FIG. 21b.

Plaque d'acier trouée et étirée. Réseau croisé huit traits par mm.

21a Réseau témoin de même pas.

21b Réseau témoin dont le pas est de 6 % supérieur à celui du modèle.

1° un déplacement fictif u' tel que :

$$u' = \alpha y.$$

2° le déplacement u correspondant à la déformation.

Le nouveau moiré sera donc formé des lignes de niveau de $U = u + u'$.

On aura :

$$\frac{\partial U}{\partial x} = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial u'}{\partial x} = \varepsilon_x.$$

La dérivation graphique n'est donc changée en rien pour le calcul de ε_x . Les points d'intersection des franges par une parallèle à ox ne changent pas si l'on tourne le réseau témoin d'un petit angle α , malgré la modification considérable de la forme des franges.

Au contraire, on a :

$$\frac{\partial u}{\partial y} = \frac{\partial U}{\partial y} - \alpha.$$

On aura donc : $\frac{\partial u}{\partial y} = -\alpha$ partout où l'on aura : $\frac{\partial U}{\partial y} = 0$, c'est-à-dire, d'après la formule donnant la pente de la normale au moiré, si la tangente à la courbe du nouveau moiré est verticale.

On pourra donc tracer une courbe de niveau de $\frac{\partial u}{\partial y}$ en joignant les points à tangente verticale des franges du moiré obtenu avec le réseau témoin tourné de α , et on aura une série de lignes de niveau en faisant varier α .

Avec le réseau témoin horizontal tourné de α , on aura les courbes de niveau de $\frac{\partial v}{\partial x}$. A partir de ces deux séries de courbes de niveau, on aura γ en un point quelconque. Par conséquent les deux procédés (variation de pas du réseau témoin et rotation du réseau témoin) permettent d'obtenir ε_x , ε_y et γ sans dérivation graphique.

Première remarque. — On peut appliquer la méthode de rotation du réseau témoin pour savoir très rapidement si en un point quelconque ε_x (ou ε_y) est positif ou négatif. Rien en effet dans l'aspect du moiré n'indique si l'on a une compression ou une traction.

Prenons par exemple le cas de ε_x . La pente de la normale à une frange du moiré de u est, comme nous l'avons vu plus haut :

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\frac{\partial u}{\partial y}}{\frac{\partial u}{\partial x}}.$$

Si le réseau témoin tourne de α , la nouvelle pente est :

$$\frac{\frac{\partial U}{\partial y}}{\frac{\partial U}{\partial x}} = \frac{\frac{\partial u}{\partial y}}{\frac{\partial u}{\partial x}} + \frac{\alpha}{\frac{\partial u}{\partial x}} = \operatorname{tg} \varphi + \frac{\alpha}{\varepsilon_x}$$

ou :

$$\Delta (\operatorname{tg} \varphi) = \frac{\alpha}{\varepsilon_x}.$$

Donc les franges du moiré de u en un point tournent dans le même sens que le réseau témoin, si ε_x est positif (traction) et dans le sens contraire s'il est négatif (compression) (V. fig. 22).

Deuxième remarque. — On aura facilement la loi de passage du moiré normal obtenu avec le réseau témoin e au moiré obtenu avec le réseau témoin tourné de α , ou encore avec le moiré obtenu avec le réseau témoin $e(1 + \lambda)$, en résolvant d'abord le petit problème suivant :

Supposons qu'une déformation D_1 d'un modèle donne un moiré M_1 , et qu'une autre déformation D_2 donne, avec le même réseau témoin un moiré M_2 . Quel sera le moiré M obtenu avec la déformation $D = D_1 + D_2$?

Supposons par exemple le réseau témoin vertical.

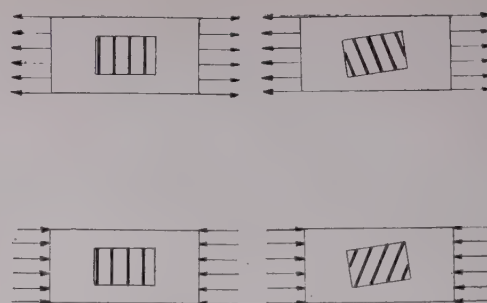


FIG. 22. — Croquis montrant le moyen de connaître le signe de ε par une rotation du réseau témoin.

Soient u_1 , u_2 et u les composantes horizontales des déformations D_1 , D_2 et D . On a :

$$u = u_1 + u_2.$$

Le moiré M_1 est formé de lignes de niveau de u_1 et correspond donc à des valeurs successives e , $2e$, $3e$... De même pour M_2 .

Une frange de M , c'est-à-dire une ligne de niveau de $u = u_1 + u_2$ sera obtenue en joignant en diagonale les intersections de M_1 et M_2 . En effet, comme on le voit immédiatement sur le croquis (fig. 23), quand on passe en diagonale d'une maille à l'autre du quadrillage curviligne formé par M_1 et M_2 , la valeur de U_1 augmente de e et celle de U_2 diminue de e ; leur somme reste donc constante.

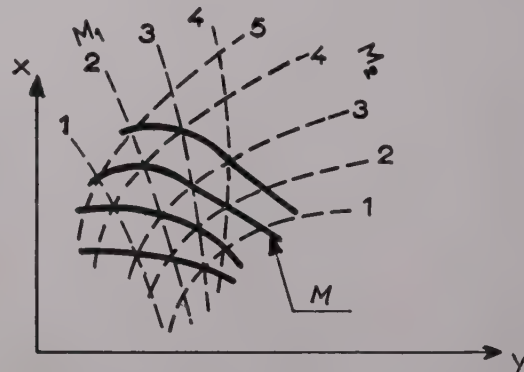


FIG. 23. — Mécanisme d'« addition » de deux moirés.

On a ainsi le mécanisme très simple d'« addition » de deux moirés.

Il est facile d'appliquer ce résultat au cas du moiré obtenu par rotation du réseau témoin. Cette rotation α est équivalente, bien entendu, à une rotation $-\alpha$ du réseau déformé (c'est-à-dire, comme nous l'avons vu plus haut, à une déformation fictive $u' = \alpha y$). Cette déformation fictive donne comme moiré des franges rectilignes horizontales et équidistantes, l'écartement constant étant $\frac{e}{\alpha}$. Il suffit donc « d'ajouter » en diagonale le moiré initial avec celui formé d'horizontales équidistantes pour avoir le nouveau moiré (fig. 24). On

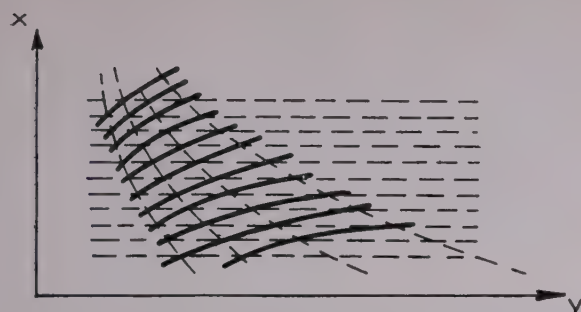


FIG. 24. — Schéma de la transformation des franges du moiré par légère rotation du réseau témoin.

voit bien sur le croquis que, bien que les deux moirés soient très différents, les distances respectives des franges le long d'une horizontale sont les mêmes pour les deux moirés et que, par conséquent, la dérivation graphique donnerait le même résultat. On retrouvera plus loin ce résultat par un calcul direct.

Même chose dans le cas d'un moiré obtenu avec réseau $e(1 + \lambda)$. Dans ce cas, on « ajoute » le moiré initial à celui formé de droites verticales équidistantes espacées de $\frac{\lambda}{e}$.

3° Moiré du deuxième ordre ou moiré de moiré.

Nous avons, au début de cet article, défini le moiré produit par la superposition d'un réseau témoin et d'un réseau déformé.

On peut généraliser cette définition en considérant une famille quelconque de courbes définies par l'équation :

$$\Phi(x, y, n) = 0$$

n étant un nombre entier arbitraire. A chaque valeur de n correspond une courbe et à l'ensemble des valeurs de n , correspond une famille « discrète », au sens mathématique du mot.

En général, on pourra écrire l'équation sous la forme :

$$F(x, y) = n$$

c'est-à-dire considérer la famille de courbes comme la ligne de niveau d'une surface $z = F(x, y)$.

Considérons maintenant une famille de courbes voisines de la première :

$$F(x, y) + f(x, y) = n'$$

n' étant un entier arbitraire et f étant une fonction quelconque, mais *très petite par rapport à F* . La nouvelle famille sera donc formée de lignes de niveau d'une surface très voisine de la première.

Pour qu'un point du plan appartienne à la fois aux deux familles, il faut et il suffit que :

$$f(x, y) = n' - n = p$$

p étant un entier arbitraire.

Autrement dit, les points d'intersection des courbes des deux familles se situent sur une troisième famille formée des lignes de niveau de la surface : $z = f(x, y)$.

Si les familles : $F = n$ et $F + f = n'$ sont formées de lignes suffisamment serrées, les lignes de la troisième famille apparaîtront comme les franges d'un moiré,

exactement comme dans le cas de la superposition d'un réseau et d'un réseau déformé.

Appliquons ces considérations au cas où l'on aurait obtenu, par application de la méthode des réseaux, un moiré formé de courbes *très serrées* (cas de fortes déformations et d'un réseau de 25 à 50 traits par mm). Supposons que l'on fasse deux clichés identiques de ce moiré, obtenu par exemple avec un réseau horizontal. Si l'on superpose les deux clichés, en imprimant à l'un d'eux une translation verticale Δy , on verra un moiré du second ordre ou *moiré de moiré*, lieu des intersections des courbes des deux moirés. Le premier est formé des lignes de niveau de v et il a pour équation :

$$v(x, y) = ne$$

e étant l'écartement des traits du réseau, et le deuxième :

$$v(x, y + \Delta y) = n'e.$$

Le moiré du second ordre est donc défini par la relation :

$$v(x, y + \Delta y) - v(x, y) = (n - n')e = pe$$

p étant un entier quelconque. Ce qui peut s'écrire, en négligeant les termes en y^2 :

$$\Delta y \cdot \frac{\partial v}{\partial y} = pe$$

ou :

$$\varepsilon_y = p \frac{e}{\Delta y}$$

Les courbes de ce nouveau moiré sont donc les *lignes de niveau de ε_y* , deux lignes successives représentant un écart de $\frac{e}{\Delta y}$.

Par un raisonnement analogue, on montrerait que :

a) une petite translation Δx donne les lignes de niveau de $\frac{\partial v}{\partial x}$;

b) les moirés de deuxième ordre obtenus à partir du moiré du réseau vertical donnent les lignes de niveau de ε_x pour une translation Δx et les lignes de niveau de

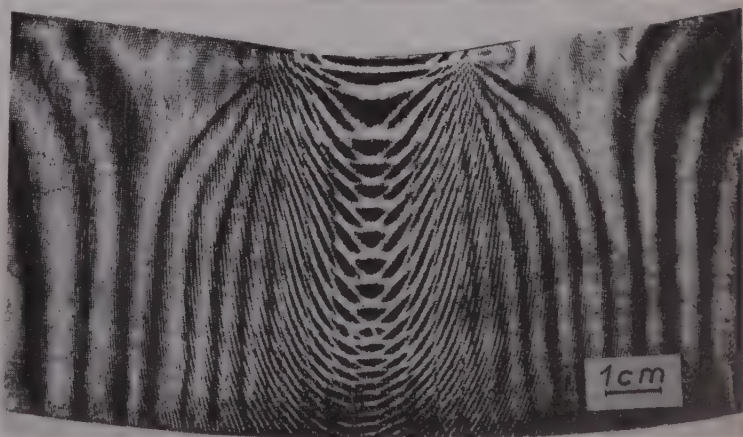


FIG. 25. — Moiré de moiré. Poutre d'araldite fléchée. Moiré du deuxième ordre obtenu par la superposition de deux moirés identiques avec un léger décalage.

$\frac{\partial u}{\partial y}$ pour une translation Δy . On obtient immédiatement γ par l'addition de $\frac{\partial v}{\partial x}$ et $\frac{\partial u}{\partial y}$.

Il importe évidemment que Δx et Δy soient petits par rapport aux dimensions de la maquette. Prenons le cas d'une maquette carrée de 7 cm avec un réseau à 50 traits par mm. Avec $\Delta x = 2$ mm, chaque ligne de

niveau de ε_w correspond à $\frac{e}{\Delta x} = 1/100$ de sorte que si les ε s'échelonnent entre 0 et 0,2, on aura vingt franges.

La méthode paraît donc valable pour des déformations importantes et les réseaux serrés.

A titre d'exemple, on trouvera (fig. 25) le cas d'une poutre en araldite ayant subi une déformation plastique par flexion. Le réseau avait 20 traits par mm.

VI. — PRÉCISION

La précision dépend, bien entendu, de la finesse du réseau. Nous n'avons pas utilisé de réseaux plus serrés que 50 traits par mm, ce qui nous paraît une limite avec la technique photographique employée.

Avec un réseau témoin identique au réseau imprimé sur le modèle, une extension uniforme ε entraîne, comme nous l'avons vu, des franges espacées du $\frac{e}{\varepsilon}$. Pour un réseau de 50 traits par mm, une extension de 10^{-3} donnera donc des franges espacées de 2 cm, et une extension de 10^{-2} , des franges espacées de 2 mm.

On aura de meilleures mesures par une *méthode différentielle* en utilisant comme réseau témoin un réseau de pas légèrement différent. On a alors des franges initiales avant déformation et on mesure, non plus l'écartement des franges, mais la *variation de cet écartement*.

Supposons qu'on utilise un réseau témoin de période $e(1 + \lambda)$. On aura, avant déformation, un moiré initial formé de droites parallèles espacées de f .

Si dans l'espace f compris entre deux franges successives, apparaît une extension ε , l'espacement des franges devient : $f' = f + \Delta f$. L'extension ε sera mesurable sur la base f si Δf peut être apprécié.

f s'exprime en fonction de λ en écrivant que le nombre de traits $\frac{f}{e}$ est égal au nombre de traits $\frac{f}{e(1 + \lambda)}$ augmenté ou diminué d'une unité :

$$\left| \frac{f}{e} - \frac{f}{e(1 + \lambda)} \right| = 1$$

ou :

$$f = e \frac{1 + \lambda}{\lambda}$$

Dans l'état déformé, on a :

$$\left| \frac{f'}{e(1 + \varepsilon)} - \frac{f'}{e(1 + \lambda)} \right| = 1$$

d'où :

$$f' = e \frac{(1 + \varepsilon)(1 + \lambda)}{\lambda - \varepsilon}$$

$$\Delta f = f' - f = e \left[\frac{(1 + \varepsilon)(1 + \lambda)}{\lambda - \varepsilon} - \frac{1 + \lambda}{\lambda} \right] = e \frac{\varepsilon + \varepsilon \lambda^2}{\lambda(\lambda - \varepsilon)}$$

Le terme en $\varepsilon \lambda^2$ peut évidemment être négligé devant ε .

On a donc :

$$\Delta f = \frac{e\varepsilon}{\lambda(\lambda - \varepsilon)}$$

et

$$\Delta f = \frac{e\varepsilon}{\lambda(\lambda - \varepsilon)} \frac{\lambda}{e(1 + \lambda)}$$

ou, en négligeant les termes du deuxième ordre :

$$\frac{\Delta f}{f} = \frac{\varepsilon}{\lambda - \varepsilon}$$

ou encore, en remplaçant λ par sa valeur :

$$\begin{aligned} \Delta f &= \frac{e\varepsilon}{e - f\varepsilon} \\ \Delta f &= \frac{e\varepsilon^2}{e - f\varepsilon} \end{aligned}$$

Prenons comme exemple $f = 10$ mm. La formule précédente devient :

$$\Delta f = 100 \frac{\varepsilon}{e - 10\varepsilon}$$

La figure 26 donne, en application de la formule précédente Δf , en fonction de ε pour diverses valeurs de e .

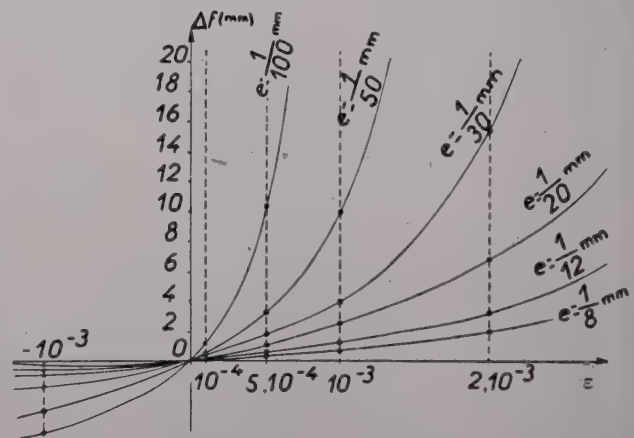


FIG. 26. — Variation Δf de l'écart entre deux franges successives pour $f = 1$ cm.

Si l'on mesure Δf au mm près, on voit sur ce graphique que le 10^{-3} peut être apprécié sur une base de 1 cm, même pour des réseaux de 10 traits par mm environ. La précision croît beaucoup plus rapidement que le nombre de traits. Pour la même extension 10^{-3} et la

même base 1 cm, Δf est égal à 10 mm pour $e = \frac{1}{50}$ mm
et Δf est infini pour $e = \frac{1}{100}$ mm

(ce qui signifie qu'il y a disparition des franges initiales).

On voit également, d'après la formule, que l'on peut mesurer le 10^{-4} sur une base de 2 cm avec un réseau de 50 traits par mm (on a alors $\Delta f = 2$ mm).

Finesse des franges du moiré.

La précision dans les mesures et en particulier dans les mesures de déplacement de franges au cas où l'on utilise la méthode de réseau témoin de pas $e(1 + \lambda)$, dépend beaucoup de la finesse des franges du moiré.

On obtient des franges fines et à bords nets en utilisant des réseaux où l'épaisseur des traits est grande par rapport à l'écartement, c'est-à-dire où les blancs sont nettement moins épais que les noirs.

En résumé :

1° Pour les extensions relativement faibles (inférieures à 10^{-3}), on aura intérêt à utiliser un réseau témoin de pas différent et à mesurer la variation Δf de l'écartement des franges initiales.

2° Pour les extensions comprises entre 10^{-3} et 10^{-1} , la méthode s'applique sans difficulté et le choix du pas du réseau dépend de la valeur des extensions à mesurer.

3° Il serait très probablement possible d'augmenter la précision en appréciant les fractions de franges par une méthode photométrique.

VII. — CORRECTIONS

La théorie de l'interprétation du moiré, qui a été donnée plus haut, s'applique normalement au cas où :

1° le réseau déformé reste plan après déformation;
2° le plan du réseau déformé et du réseau témoin coïncident;

3° il n'y a pas de rotation du réseau témoin dans son plan par rapport au réseau déformé.

Examinons l'influence d'un léger écart par rapport à ces conditions idéales.

1° Influence de la déformation du réseau perpendiculairement à son plan.

Soit xoy le plan du réseau, oz l'axe optique de l'appareil photographique, C le centre optique de l'objectif. (fig. 27).

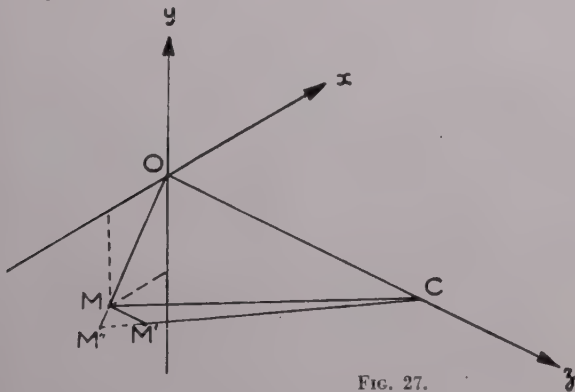


FIG. 27.

Un point M du réseau lié au modèle, prend un déplacement dont les composantes suivant x y sont u et v et dont la composante normale est w . Nous examinerons séparément l'influence de la composante normale w sur l'image du réseau telle qu'elle est enregistrée sur la plaque photographique, en supposant, ce qui est toujours le cas, que les déplacements normaux soient assez petits pour être inférieurs à la profondeur de champ, de sorte

que l'image sur la plaque est la projection centrale de la surface déformée du réseau.

Soit MM' le déplacement normal d'un point M . Le point M' est « vu » par l'objectif C comme s'il était en M'' , intersection du plan xoy par le rayon lumineux $M'C$.

La déformation normale MM' est donc équivalente, du point de vue de l'observation photographique, à un déplacement MM'' dans le plan xoy , déplacement dont les composantes Δu et Δv viennent s'ajouter aux composantes u et v du déplacement de M .

$$\overrightarrow{MM''} = \overrightarrow{OM} \frac{MM'}{OC}$$

Appelons D la distance OC du centre de l'objectif au réseau.

$$\overrightarrow{MM''} = \overrightarrow{OM} \frac{w}{D}$$

D'où :

$$\begin{cases} \Delta u = w \frac{x}{D} \\ \Delta v = w \frac{y}{D} \end{cases}$$

Les corrections relatives à ε_x , ε_y et γ sont donc les suivantes :

$$\begin{cases} \Delta \varepsilon_x = \frac{\partial}{\partial x} \Delta u = \frac{w}{D} + \frac{\partial w}{\partial x} \cdot \frac{x}{D} \\ \Delta \varepsilon_y = \frac{\partial}{\partial y} \Delta v = \frac{w}{D} + \frac{\partial w}{\partial y} \cdot \frac{y}{D} \\ \Delta \gamma = \frac{\partial}{\partial y} \Delta u + \frac{\partial}{\partial x} \Delta v = \frac{\partial w}{\partial y} \cdot \frac{x}{D} + \frac{\partial w}{\partial x} \cdot \frac{y}{D} \end{cases}$$

Or on a :

$$\frac{\partial w}{\partial x} = \varphi \quad \frac{\partial w}{\partial y} = \psi$$

en appelant φ et ψ les composantes de la rotation de l'élément plan entourant le point M .

Les formules précédentes s'écrivent donc :

$$\begin{cases} \Delta \varepsilon_x = \frac{w}{D} + \varphi \frac{x}{D} \\ \Delta \varepsilon_y = \frac{w}{D} + \psi \frac{y}{D} \\ \Delta \gamma = \psi \frac{x}{D} + \varphi \frac{y}{D} \end{cases}$$

Voyons maintenant quelle est l'importance de ces corrections et de quelle manière on peut en tenir compte.

a) Études à deux dimensions.

Dans les études à deux dimensions, le déplacement w vient uniquement des variations d'épaisseur du modèle par effet de Poisson.

Cette variation d'épaisseur est égale à $2w$. L'extension normale correspondante, $\frac{2w}{h}$, h étant l'épaisseur du modèle, est donnée par la formule :

$$\frac{2w}{h} = -\nu (\varepsilon_x + \varepsilon_y).$$

D'où :

$$w = -\nu \frac{h}{2} (\varepsilon_x + \varepsilon_y).$$

Cette déformation reste toujours très faible et d'un effet négligeable sur le moiré, *sauf au voisinage de forces concentrées*, où il se produit une déformation normale qui peut être très appréciable, et dont l'effet sur le calcul de l'extension sera d'autant plus grand que les rotations φ et ψ du plan tangent sont loin d'être négligeables.

Notons d'abord qu'on peut diminuer et simplifier beaucoup ces corrections, *en plaçant le point d'application de la force concentrée dans l'axe optique*. Les termes en φ et ψ s'éliminent dans les formules précédentes et il reste seulement le terme en $\frac{w}{D}$:

$$\frac{w}{D} = -\nu \frac{h}{2D} (\varepsilon_x + \varepsilon_y).$$

La valeur relative de la correction est donc égale à :

$$\frac{\Delta \varepsilon_x}{\varepsilon_x + \varepsilon_y} = \frac{\Delta \varepsilon_y}{\varepsilon_x + \varepsilon_y} = -\nu \frac{h}{2D}.$$

Cette correction relative est pour les modèles courants de l'ordre de $\frac{1}{100}$, c'est-à-dire négligeable, eu égard à la précision demandée dans les mesures de ce genre (on admet $1/10$ pour la précision de la mesure des contraintes en photoélasticité).

Cet artifice expérimental ne présente aucune difficulté et on peut le répéter s'il y a plusieurs forces concentrées appliquées au modèle.

b) Études à trois dimensions.

Dans les cas où le modèle et les forces ne sont pas symétriques par rapport au plan du réseau, les composantes normales de déformation peuvent être importantes. Si elles sont telles que l'on craigne des corrections notables (et difficiles à calculer puisqu'on ne peut mesurer directement φ et ψ lorsque le réseau est à l'intérieur du modèle) la solution est de diviser le réseau en plusieurs secteurs par un quadrillage à mailles très larges

et de faire une photo pour chaque secteur, celui-ci étant placé au voisinage de l'axe optique par un déplacement convenable du modèle.

2° Influence d'une non-coïncidence des plans du réseau témoin et réseau déformé.

Examinons maintenant le cas où le réseau déformé reste plan, mais où ce plan ne coïncide pas parfaitement avec le réseau témoin. Ce cas peut, bien entendu, être combiné avec le précédent en ajoutant les corrections correspondantes.

Supposons que le réseau témoin soit dans le plan xoy . Soit $00' = \delta$ la distance de deux réseaux le long de l'axe optique et φ et ψ les composantes suivant ox et oy de la rotation du plan du deuxième réseau par rapport au premier. Les quantités δ , φ et ψ sont supposées petites.

Ce cas peut être traité comme un cas particulier du précédent en faisant :

$$w = \delta + \psi y + \varphi x.$$

On trouve immédiatement :

$$\begin{cases} \Delta u = \frac{x}{D} (\delta + \varphi x + \psi y) \\ \Delta v = \frac{y}{D} (\delta + \varphi x + \psi y) \end{cases}$$

et :

$$\begin{cases} \Delta \varepsilon_x = \frac{\delta}{D} + 2\varphi \frac{x}{D} + \psi \frac{y}{D} \\ \Delta \varepsilon_y = \frac{\delta}{D} + \varphi \frac{x}{D} + 2\psi \frac{y}{D} \\ \Delta \gamma = \psi \frac{x}{D} + \varphi \frac{y}{D} \end{cases}$$

Considérons séparément l'effet de la translation du réseau parallèlement à lui-même et l'effet de la rotation.

Si les deux réseaux sont parallèles et distants de δ les formules précédentes se réduisent à :

$$\begin{aligned} \Delta \varepsilon_x &= \Delta \varepsilon_y = \frac{\delta}{D} \\ \gamma &= 0. \end{aligned}$$

C'est-à-dire qu'il suffit d'ajouter aux quantités mesurées une correction constante. L'erreur est exactement la même que si le réseau témoin était placé dans le même plan que le réseau déformé, mais avait un écartement de traits légèrement différent.

S'il y a seulement rotation, considérons pour simplifier le cas où l'axe de rotation est Ox ($\varphi = 0$, $\delta = 0$)

$$\begin{cases} \Delta \varepsilon_x = \psi \frac{y}{D} \\ \Delta \varepsilon_y = 2\psi \frac{y}{D} \\ \Delta \gamma = \psi \frac{x}{D} \end{cases}$$

Les erreurs relatives à la non-coïncidence du réseau témoin et du réseau déformé peuvent prendre quelque importance dans le cas où l'on opère en photographiant successivement le réseau déformé et le réseau témoin. Malgré toutes les précautions prises pour le repérage,

il peut y avoir un certain écart de position entre les deux réseaux.

La correction est facilitée par la remarque suivante : Il y a presque toujours des parties du modèle qui sont telles que, d'après leur situation et la position des forces, on est sûr qu'il n'y a aucune extension. Le calcul graphique dans cette région doit donc donner des extensions nulles s'il n'y a pas lieu à correction, et dans le cas contraire des extensions égales aux corrections. Le calcul de $\Delta\epsilon_x$, $\Delta\epsilon_y$, $\Delta\gamma$ dans un seul point à extension nulle donne immédiatement les trois éléments δ , φ et ψ et par conséquent permet de faire la correction en tous les autres points du modèle. S'il n'y avait pas de zone à extension nulle, on verrait facilement qu'on peut cependant calculer les corrections par l'étude des bords libres, où l'on doit avoir :

$$\gamma_{nt} = 0$$

$$\epsilon_n + \nu\epsilon_t = 0$$

s'il y a coïncidence du réseau témoin et du réseau déformé.

Si ces conditions ne sont pas réalisées, avec les extensions mesurées au moyen du moiré, cela fournirait deux relations entre $\Delta\epsilon_x$, $\Delta\epsilon_y$ et γ au point considéré, donc deux conditions entre δ , φ et ψ . En recommençant en un autre point, on aura deux autres conditions et on pourra déterminer les inconnues.

3° Influence d'une rotation du réseau témoin dans son plan.

Si le réseau témoin tourne d'un angle α autour de l'axe optique, un raisonnement analogue aux précédents donne :

$$\Delta u = \alpha y$$

$$\Delta v = -\alpha x.$$

et par conséquent :

$$\Delta\epsilon_x = \Delta\epsilon_y = \Delta\gamma = 0.$$

La figure du moiré sera considérablement modifiée, mais l'interprétation par dérivation graphique donnera les mêmes résultats, sans qu'il soit nécessaire de faire de correction, ce qui est naturel puisqu'on ajoute à la déformation propre du réseau une déformation fictive inextensionnelle. La nouvelle double famille des courbes de moiré sera toujours les lignes de niveau des surfaces représentant les fonctions u et v , mais prises par rapport à des plans obliques (pour u , ce sera le plan $z = -\alpha y$ et pour v le plan $z = \alpha x$). On retrouve ainsi les résultats obtenus plus haut par une autre méthode.

4° Influence des inégalités périodiques du réseau.

Il arrive souvent que, par suite d'imperfections des machines à tracer, les réseaux présentent de légères inégalités périodiques d'écartement des traits. Nous allons en examiner l'influence sur le moiré.

Soit un réseau dont l'écartement varie périodiquement entre $e + \alpha$ et $e - \alpha$, la période s'étendant sur p intervalles (fig. 28).

En supposant la variation sinusoïdale, l'équation des traits du réseau est :

$$y = ne + \alpha \sin \frac{2\pi n}{p}$$

et celle du réseau déformé :

$$y = n'e + \alpha \sin \frac{2\pi n'}{p} + v$$

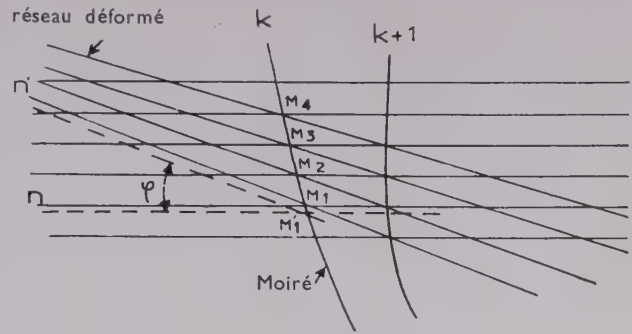


FIG. 28.

n et n' étant des entiers quelconques.

S'il n'y avait pas de variation sinusoïdale, les lignes du moiré joindraient les points tels que M_1 , M_2 , M_3 .

En raison de la variation sinusoïdale, les points M_1 , M_2 , ..., subissent un léger déplacement que nous allons calculer.

Considérons le point M_1 , rencontre de la ligne n du réseau initial et de la ligne n' du réseau déformé. La ligne n subit un déplacement vertical $\alpha \sin \frac{2\pi n}{p}$ et la ligne n' un déplacement vertical $\alpha \sin \frac{2\pi n'}{p}$.

Si φ est l'inclinaison (supposée faible) de la ligne n' au point M_1 , on trouve facilement que le vecteur $M_1 M'_1$ a pour composantes :

$$X = \frac{\alpha}{\varphi} \left(\frac{\sin \frac{2\pi n}{p}}{p} - \frac{\sin \frac{2\pi n'}{p}}{p} \right)$$

$$Y = \alpha \sin \frac{2\pi n}{p}$$

La composante verticale reste toujours très faible et par conséquent n'entraîne aucune déformation appréciable de la frange de moiré. Au contraire, la composante horizontale, en raison du facteur $\frac{1}{\varphi}$ peut devenir importante. Voyons quelle sera la périodicité de cette composante.

$$\text{Elle peut s'écrire : } \frac{2\alpha}{\varphi} \sin \frac{2\pi}{p} (n - n') \cos \frac{2\pi}{p} (n + n').$$

Remarquons que $n - n'$ est constant le long d'une ligne de moiré, et posons :

$$n - n' = K$$

K est l'ordre de numérotage de la frange de moiré, comme n et n' sont les ordres de numérotage des lignes des deux réseaux.

En remplaçant dans l'expression de X , on trouve :

$$X = \frac{2\alpha}{\varphi} \sin \frac{2\pi K}{p} \cos \frac{2\pi}{p} (K + 2n'),$$

formule où tout est constant, sauf φ et n' .

La période correspond donc à un nombre de traits égal à $\frac{p}{2}$, c'est-à-dire à un $y = \frac{pe}{2}$, et l'amplitude est égale à $\frac{2\alpha}{\varphi} \sin \frac{2\pi K}{p}$. Elle varie en fonction de φ et de K .

Les « ventres » correspondent à :

$$\frac{2\pi}{p} (K + 2n') = m\pi$$

c'est-à-dire à :

$$n' = \frac{m}{4} p - \frac{K}{2}$$

m étant un entier quelconque.

On voit que les « ventres » ne sont autres que les intersections des lignes du moiré avec les traits du réseau déformé espacé de $\frac{p}{4} e$, c'est-à-dire d'un quart de période (fig. 29).

Ces ventres, qui correspondent à un maximum de la composante X , se traduisent en fait, étant donné l'épaisseur du trait de moiré, par une surépaisseur. Situés comme nous l'avons dit, à l'intersection des courbes du moiré et de lignes sensiblement horizontales et équidistantes, ces ventres s'alignent en diagonale suivant un nouveau réseau qui dessine les franges d'un *moiré secondaire*, sans aucun intérêt pour la détermination des extensions. L'ondulation du moiré est visible sur la figure 7.

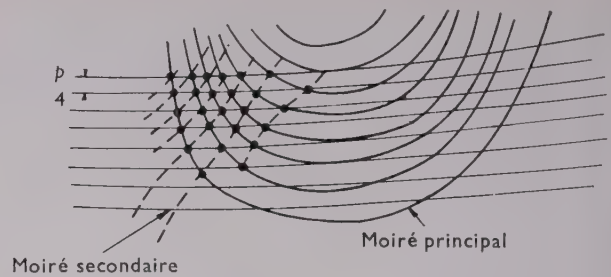


FIG. 29.

Nous ne voulons pas terminer ces exposés sans adresser nos remerciements à M. Thiry, professeur à la Sorbonne et à M. Stahl, Directeur du Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, pour les précieux conseils et l'aide matérielle qu'ils nous ont apportés, et d'autre part à l'équipe formée de M^{lle} Leconte, M^{me} Godin, M^{me} Santini et M. Diruy qui, en dehors du travail courant de la Section d'Optique, ont collaboré à ces recherches avec beaucoup d'intelligence et de dévouement, sans jamais se laisser rebuter par les nombreuses difficultés expérimentales.

DISCUSSION

M. LE PRÉSIDENT. — Je pense que vous avez été intéressés par l'exposé de M. DANTU. Tout cela vous a paru extrêmement simple, mais enfin je suis bien persuadé que, les uns et les autres, vous vous rendez compte des tréfonds d'ingéniosité qu'il a fallu pour arriver à mettre en évidence des phénomènes sur une échelle aussi petite et avec une simplicité de moyens apparemment aussi grande.

M. DANTU se fera un plaisir de donner les explications complémentaires que vous désireriez, ou de répondre aux suggestions et questions que certains d'entre vous voudraient bien lui poser.

M. FREYSSINET. — Je voudrais d'abord adresser mes félicitations au conférencier pour l'ingéniosité, et surtout le courage, qu'il faut pour entreprendre des recherches aussi difficiles.

En second lieu, lui faire part des réflexions que j'ai faites parce qu'il y a bien longtemps que je pense au problème qu'il vient de traiter avec tant de maîtrise devant nous. Il y a presque toujours dans les bétons des phénomènes de glissement entre les cailloux, même pour des valeurs de contraintes excessivement faibles.

Dans un béton qui travaille sous une presse à des taux quelconques, vous avez des cailloux de 5 cm de long par exemple qui, en un certain point, sont au contact à un dixième de millimètre près ou même moins. Il est bien évident qu'en ce point il peut se produire des glissements qui, évidemment, ne sont pas grands, mais qui, à l'échelle de l'intervalle entre les cailloux en ce point sont considérables et très supérieurs aux déformations élastiques possibles.

Un autre point est que je crois qu'il faut toujours considérer la pâte comme un élément plastique, et je dirai même plus que plastique, comme un élément vivant. C'est-à-dire que lorsqu'on appuie sur elle on lui fait mal et elle s'en va. Le béton, le mortier, est un être vivant, et c'est de ce point de vue qu'il faut interpréter toutes ses réactions et toutes ses déformations. Quand vous pressez sur du mortier d'une façon énergique, en un point donné, il ne proteste pas par la création de contraintes élevées, il s'en va, purement et simplement, et c'est la raison pour laquelle, dans vos réactions de contacts, vous trouvez des contraintes qui sont relativement faibles, au lieu de contraintes élevées que l'on a dès que cet élément vivant, cet élément plastique, n'existe plus.

C'est tout ce que je voulais dire, parce que le sujet est tellement vaste qu'on pourrait en discuter pendant huit jours.

M. BRICE. — Je souhaiterais vivement que le conférencier nous permette éventuellement d'utiliser ses méthodes pour rechercher un peu plus exactement ce qui se passe dans ce béton armé qui nous est très cher, mais que nous connaissons si mal.

M. LE PRÉSIDENT. — M. BRICE, voulez-vous prendre le chemin du boulevard Lefebvre? M. DANTU se fera un plaisir de vous y recevoir, de vous montrer dans le détail où nous en sommes et de prendre langue avec vous pour voir la suite qu'il y aurait lieu de donner?

M. DANTU. — Avec grand plaisir. Je ne tiens pas à garder l'exclusivité de ces méthodes et je donnerai volontiers tous les détails expérimentaux.

M. LE PRÉSIDENT. — M. DANTU vous a montré un luxe de photographies et de films assez grand; il peut y avoir intérêt à vous montrer les échantillons eux-mêmes, si j'ose dire. Ils sont en dépôt au boulevard Lefebvre, vous n'avez qu'à donner un coup de téléphone, nous tâcherons de grouper quelques visites. Il faut faire cela en petit nombre, le laboratoire n'est pas grand. Mais nous vous montrerons tout cela avec grand plaisir.

M. BRICE. — Vous donnez aux chercheurs de nombreux moyens d'expérimentation et la possibilité d'étudier des phénomènes qu'ils ignorent d'une façon quasi totale. Je souhaiterais que ces techniques nouvelles nous permettent de comprendre notamment ce qui se passe dans une pièce en béton.

M. DANTU. — Je ne prétends pas avoir trouvé ce qui se passe, mais seulement donner quelques premières indications. M. FREYSSINET a bien dit toute la complexité du problème. Je ne prétends pas du tout être arrivé à connaître le détail du fluage du mortier, à l'intérieur du béton, il s'agit simplement d'une première approche.

M. LE PRÉSIDENT. — Vous avez montré qu'il est possible d'y voir clair dans certaines hypothèses en regardant avec des instruments dont, je le répète, la mise au point n'était pas du tout si facile que cela. C'est un peu l'œuf de Christophe Colomb : avec la simplicité que vous avez indiquée, tout le monde trouve... « Oui c'est évident! » Mais personne ne l'avait fait.

M. FREYSSINET. — C'est extrêmement remarquable.

M. LE PRÉSIDENT. — Il me reste une dernière fois à remercier M. DANTU et à vous remercier d'avoir bien voulu l'écouter.

(Reproduction interdite)

Vap 112-113

DOCUMENTATION
TECHNIQUE

111

RÉUNIE EN OCTOBRE 1957

SERVICE DE DOCUMENTATION

L'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics peut en général fournir la reproduction *in extenso* des documents figurant à l'index analytique de documentation : sur microfilms négatifs de 35 mm qui peuvent être lus en utilisant soit un agrandisseur photographique courant, soit un lecteur de microfilms ou sur papiers positifs pour lecture directe.

Les demandes de documents doivent comporter le numéro d'ordre placé en tête de l'analyse, le titre du document et le nom de l'auteur.

Prix des reproductions photographiques

Microfilms : la bande de 5 images (port en sus).....				160 F	
Positifs sur papier : la page (port en sus):					
Format	9 × 12.....	70 F	Format	18 × 24... ..	110 F
	13 × 18.....	90 F		21 × 27.....	150 F
Minimum de perception				250 F	

Ces prix sont susceptibles de variation.

Pour tous renseignements, s'adresser à l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics,
6, rue Paul-Valéry, Paris-XVI^e.

I. — INDEX ANALYTIQUE DE DOCUMENTATION

Les références de chaque article sont données dans l'ordre suivant : Numéro d'ordre, titre de l'article, nom de l'auteur, nom de la revue, date, numéro du fascicule, nombre de pages, nombre de planches.

C. — SCIENCE DE L'INGÉNIEUR

Ca RÉSISTANCE
DES MATÉRIAUX

1-111. Sur les déformations non linéaires de barres comprimées (Ueber nicht lineare Formänderungen bei gedrückten Stäben). FORKERT (L.); Oesterr. BauZ. Autr. (juil.-août 1957), n°s 7-8, p. 164-168, 7 fig. — Calcul des déformations d'une barre soumise à une compression excentrée. — E. 49486.
CDU. 624.04 : 624.072.3 : 624.075.2.

2-111. Détermination simple des paramètres de gauchissement dans la section des poutres en caisson (Einfache Ermittlung der Wölbquerschnittswerte von Kastenträgern). RESINGER (F.); Stahlbau, All. (août 1957), n° 8, p. 217-220, 6 fig., 5 réf. bibl. — E. 49222.
CDU 624.044 : 624.072/8 : 624.075.3.

3-111. Conditions de voilement de la plaque rectangulaire comportant deux raidisseurs placés dans le sens de la longueur et passant respectivement au 1/3 et aux 2/3 de la largeur, dans

le cas des conditions aux limites de Navier I. II. (Beulwerte der durch zwei gleiche Längsteifen in den Drittelpunkten der Feldbreite ausgesteiften Rechteckplatte bei Navierschen Randbedingungen). KLÖPPEL (X.), SCHEER (J.); Stahlbau, All. (nov. 1956), n° 11, p. 265-274, 13 fig., 7 réf. bibl.; (sep. 1957), n° 9, p. 246-252, 11 fig., 9 réf. — E. 44731, 49668.
CDU. 624.075.4 : 624.078.8.

4-111. Comportement de murs en béton armé de la hauteur d'un étage, soumis à des

Afin de simplifier la lecture des références, la numérotation du fascicule " Documentation Technique ", sera la même que celle des " Annales ", à partir du n° 122 (février 1958). — Il n'y aura donc pas de " Documentation Technique " portant l'un des numéros suivants : 112 à 121 inclus.

efforts de cisaillement (The behavior of one-story reinforced concrete shear walls). BENJAMIN (J.-R.), WILLIAMS (H.-A.); *J. Struct. Div.*, U. S. A. (mai 1957), vol. 83, n° ST3 : *Proc. A. S. C. E.*, pap. 1254, 49 p., 39 fig. — Etude expérimentale faite à la Stanford University, de murs en béton armé ou non armé, soumis à des efforts tranchants appliqués dans le plan moyen du mur. Résultats obtenus dans différents cas de charge. Etablissement de formules approchées permettant d'établir des courbes de déformation de ces murs en fonction des charges. — E. 48149.

CDU. 624.043/4 : 69.022 : 624.012.45.

5-111. La transmission de fortes pressions localisées dans les éléments en béton armé (Übertragung hoher örtlicher Pressungen auf Stahlbeton). POHLE (W.); Edit. : *Wilhelm Ernst und Sohn*, All. (1957), *Deutscher Ausschuss f. Stahlbeton* n° 122, p. 39-52, 28 fig., 1 réf. bibl. — Essais à échelle réduite et en vraie grandeur. Tableaux des résultats des mesures de contraintes. — E. 49146.

CDU. 624.043 : 691.328 : 620.1.

6-111. Comportement non élastique des poutres soumises à des charges variables dans le temps (Inelastic behavior of impulsively loaded beams). GREAVES (M. J.), MAVIS (F. T.); *J. Struct. Div.*, U. S. A. (mai 1957), vol. 83, n° ST3 : *Proc. A. S. C. E.*, pap. 1232, 18 p., 16 fig., 6 réf. bibl. — Présentation de méthodes facilitant la résolution de ces problèmes, qu'il n'est généralement pas possible de traiter par superposition des effets (correspondant à la poutre soumise d'une part, à une charge impulsive dans le domaine élastique, d'autre part à une charge statique dans le domaine inélastique). — E. 48149.

CDU. 624.042/3 : 624.072.2 : 539.5.

7-111. Les charges mobiles des ponts-routes estimées par les lois du hasard (Highway bridge live loads based on laws of chance). STEPHENSON (H. K.); *J. Struct. Div.*, U. S. A. (juil. 1957), vol. 83, n° ST4 : *Proc. A. S. C. E.*, pap. 1314, 23 p., 8 fig., 8 réf. bibl. — Application de la théorie élémentaire des probabilités à l'estimation des fréquences de circulation des charges mobiles, d'après les caractéristiques du trafic automobile lourd. Utilisation de la méthode à différents problèmes pratiques. — E. 49058. CDU. 624.042 : 624.21 : 656 : 519.

8-111. Le tremblement de terre de Mexico a fait apparaître des défauts dans la conception et la construction des bâtiments (Earthquake revealed defects in design and construction). MERRITT (F. S.); *Engng News-Rec.*, U. S. A. (15 août 1957), vol. 159, n° 7, p. 38-42, 44, 10 fig. — E. 49308. CDU. 699.841.

9-111. Calcul approché des moments fléchissants d'après la théorie du deuxième ordre pour le dimensionnement des barres comprimées excentriquement suivant la norme DIN 4114, Ri 10.2 (Näherungsweise Berechnung der Biegemomente nach Spannungstheorie II. Ordnung zur Bemessung von aussermittig gedrückten Stäben nach DIN 4114, Ri 10.2). KLÖPFEL (K.), GÖDER (W.); *Stahlbau*, All. (juil. 1957), n° 7, p. 188-191, 6 fig., 3 réf. bibl. — E. 48869.

CDU. 624.042/3 : 624.072.3 : 624.014.2.

10-111. Les sollicitations au joint des poteaux constitués d'éléments préfabriqués en béton. Poteaux à section à double symétrie avec effort normal centré N. I. II. (fin) (Die Beanspruchungen im Stoss von Fertigbetonstützen. Doppelt symmetrischer Stützenquerschnitt mit mittiger Normalkraft N). SCHEUNERT (A.); *Bautechnik*, All. (jan. 1957), n° 1, p. 29-32, 13 fig.; (avr. 1957), n° 4, p. 146-151, 12 fig., 9 réf. bibl. — E. 45677, 47398.

CDU. 624.043 : 624.078 : 624.072.3 : 693.55.

11-111. Etude sur modèle de l'ossature du bâtiment de la centrale électrique de Belfast. I. II. (fin) (Model analysis of Belfast power station building frame). KIM FUNG TSE; *Civ. Engng*, G.-B. (juin 1957), vol. 52, n° 612, p. 660-662, 7 fig., 1 réf. bibl.; (juil. 1957), n° 613, p. 792-793, 3 fig. — Description de l'ossature et du modèle, étude sur modèle du comportement de l'ossature sous la charge du vent et sous les charges verticales. — Exposé de la méthode utilisée pour calculer les contraintes dues aux dilatations, aux affaissements de la fondation, au fluage du béton, et aux déformations axiales des éléments de construction. — E. 48241, 48843.

CDU. 69.001.5 : 624.043 : 693.95 : 621.311.22.

12-111. Contraintes s'exerçant aux ouvertures de tunnels de section utile rectangulaire avec voûture en arc de cercle (Spannungen an Tunnelöffnungen mit rechteckigem Nutzerschnitt und kreisbogenförmiger Überwölbung). HILTSCHER (R.); *Bauingenieur*, All. (août 1957), n° 8, p. 288-291, 8 fig., 13 réf. bibl. — E. 49356. CDU. 624.043 : 624.192.

13-111. Effet du cisaillement sur la répartition des contraintes dans les poutres métalliques continues (A nyíras hatása a többszámú folytatolagos acélgerendák erőjátékára). KORANYI (I.); *Az Építőipari és Közlekedési Muszaki Egyetem Tudományos Ulésszakanak Előadásai 1955 november 11-12* (Conférences sci. Ec. Sup. Archit. civ. Ingrs, Budapest, 11-12 nov. 1955), Hongr. (1957), 21 p., 17 fig., 4 réf. bibl. (résumés russe, anglais). — E. 48871. CDU. 624.043 : 624.072.2 : 624.075 : 624.014.2.

14-111. Recherche sur la répartition des contraintes dans les semelles sur pieux, avec quelques notes sur le dimensionnement (An investigation into the stress distribution in pile caps with some notes on design). HOBBS (N. B.); STEIN (P.); *Proc. Instn civ. Engrs*, G.-B. (juil. 1957), vol. 7, p. 599-628, 12 fig., 7 fig. h.-t., 3 réf. bibl. — E. 48779.

CDU. 624.043 : 624.153/55.

15-111. Déformation brusque et tenue après flambement des voiles cylindriques sous l'action d'une compression extérieure (Snap-through and post-buckling behavior of cylindrical shells under the action of external pressure). LANGHAAR (H. L.), BORESI (A. P.); *Univ. Ill. Bull.*, U. S. A. (avr. 1957), vol. 54, n° 59, (*Univ. Ill. Engng Exper. Sm Bull.*, n° 443), 40 p., 36 fig., 20 réf. bibl. — Etude théorique faite au Laboratoire expérimental de l'Université d'Illinois en collaboration avec l'Office de la Recherche navale américaine. — Etablissement des relations charges-déformations. Tableaux et graphiques d'application. — E. 49248.

CDU. 624.04 : 624.075.2 : 624.074.4/7.

16-111. La rigidité latérale des ponts suspendus (The lateral rigidity of suspension bridges). SILVERMAN (I. K.); *J. Engng Mechan. Div.*, U. S. A. (juil. 1957), vol. 83, n° EM3 : *Proc. A. S. C. E.*, pap. 1292, 17 p., 11 fig., 6 réf. bibl. — Exposé des paramètres dont dépend la tenue d'un ouvrage suspendu soumis à des charges latérales. Applications. — E. 49057.

CDU. 624.075.3 : 624.5.

17-111. Le problème des appuis à déplacement dans les ponts en béton armé (Problema reazemele mobile la podurile de beton armat). BELOIU (C.); *Rev. Transporturilor*, Roum. (août 1957), n° 8, p. 346-351, 15 fig. — E. 49595.

CDU. 624.078.5/6 : 624.21.012.45.

18-111. Essais de répartition latérale des charges sur un pont à poutres en I (Lateral load distribution test on I-beam bridge). WHITE (A.); PURNELL (W. B.); *J. Struct. Div.*, U. S. A. (mai 1957), vol. 83, n° ST3 : *Proc. A. S. C. E.*, pap. 1255, 20 p., 12 fig., 6 réf. bibl. — Essais effectués sur un pont-route

et comportant des mesures extensométriques en vue de préciser : le rôle de la dalle et des diaphragmes dans la transmission des efforts dynamiques; le développement des interactions entre poutres et dalles. — E. 48149.

CDU. 624.042/3 : 624.27.014.2 : 69.001.5.

19-111. Dispersion des ondes longitudinales (Dispersion of longitudinal waves). VOLTERRA (E.); *J. Engng Mechan. Div.*, U. S. A. (juil. 1957), vol. 83, n° EM3 : *Proc. A. S. C. E.*, pap. 1322, 24 p., 8 fig., 17 réf. bibl. — Etude du problème de la dispersion des ondes longitudinales dans des barres élastiques de longueur infinie et de section rectangulaire. Comparaison des résultats à ceux fournis par d'autres méthodes. — E. 49057. CDU. 539.3 : 534.

20-111. Sensibilité aux vibrations de différents types de ponts-routes (Vibration susceptibilities of various highway bridges types). OEHLER (L. T.); *J. Struct. Div.*, U. S. A. (juil. 1957), vol. 83, n° ST4 : *Proc. A. S. C. E.*, pap. 1318, 41 p., 40 fig., 5 réf. bibl. — Résultats d'essais exécutés sur quinze ponts de divers types. Description des essais. Comparaison des différents types de ponts du point de vue de la sensibilité aux vibrations. Méthodes proposées pour le calcul de la fréquence fondamentale de vibration pour tous les types de ponts. — E. 49058.

CDU. 534 : 624.21 : 625.7 : 69.001.5.

21-111. Le flambement des plaques soumises à des contraintes non homogènes (Buckling of plates under non-homogeneous stress). BIJLAARD (P. P.); *J. Engng Mechan. Div.*, U. S. A. (juil. 1957), vol. 83, n° EM3 : *Proc. A. S. C. E.*, pap. 1293, 31 p., 24 fig., 17 réf. bibl. — Calcul des contraintes du flambement plastique pour de longues plaques maintenues à leurs bords non chargés, et soumises à une flexion longitudinale ou à une compression excentrée dans leur plan. Formules et abaque d'application. — E. 49057.

CDU. 624.043 : 624.073 : 624.075.2/3.

22-111. Flambement par fluage des voiles cylindriques (Creep buckling of cylindrical shells). SUNDRSTRÖM (E.); *Kungl. Tekniska Högskolans Handlingar*, Suède (1957), n° 115, 34 p., 16 fig., 5 réf. bibl. — Méthode de calcul basée sur l'analogie avec une double membrane, du temps critique de flambement d'une enveloppe cylindrique soumise à une compression extérieure. Graphiques et tableaux de détermination de la distribution des contraintes et du temps critique. — E. 49162.

CDU. 624.04 : 624.075.2 : 624.074.4/7.

23-111. Calcul matriciel au flambement des barres composées à l'aide de la transformation de Laplace (Die Stabilitätsberechnung abgesetzter Knickstäbe mit Hilfe der Laplace-Transformation und der Matrizenrechnung). WAGNER (H.); *V. D. I., All.* (1^{er} sep. 1957), vol. 99, n° 25, p. 1251-1256, 8 fig., 13 réf. bibl. — E. 49444. CDU. 624.075.2 : 518.

24-111. Flambement latéral de poutres en I soumises à des moments inégaux aux extrémités (Lateral buckling of I-beams subjected to unequal end moments). CLARK (J. W.); JOMBOCK (J. R.); *J. Engng Mechan. Div.*, U. S. A. (juil. 1957), vol. 83, n° EM3 : *Proc. A. S. C. E.*, Pap. 1291, 19 p., 12 fig., 10 réf. bibl. — Etude expérimentale du flambement latéral élastique et non élastique de poutres en I en alliage d'aluminium soumises à des moments inégaux aux extrémités. Méthode approchée de détermination de la résistance des poutres en I au flambement non élastique avec ce type de charge. — E. 49057.

CDU. 624.075.2 : 624.072.2 : 691.771 : 624.042.

25-111. Sur la résistance à la traction par flexion du béton et son rôle dans la poutre en béton armé (Ueber die Biegezugfestigkeit des Betons und ihre Mitwirkung im Stahlbeton-

alken). GEBAUER (F.); *Bauplan.-Bautech.*, All. (juil. 1957), n° 7, p. 294-297, 3 fig., 27 réf. bibl. — Historique et état actuel du problème. La poutre en béton non armé. — E. 48618. CDU. 539.4 : 666.972.

26-111. Le danger de rupture fragile dans des aciers à béton (Sprödruckgefahr bei Betonstählen). SÖRETTZ (S.); *Z. österr. Ingr. Architekten-Ver.*, Autr. (3 sep. 1957), nos 17-18, p. 205-210, 10 fig., 6 réf. bibl. — Examen des caractéristiques dont dépend le risque de rupture fragile (concentration des contraintes, section des aciers, traitement thermique). — E. 49487. CDU. 539.3/5 : 672 : 693.554.

27-111. Déformations des ouvrages dans le domaine non élastique (Deflections of structures in the inelastic range). GERSTLE (K. H.); *Engng Mech. Div.*, U. S. A. (juil. 1957), vol. 83, n° EM3 : *Proc. A. S. C. E.*, Pap. 1290, 1 p., 15 fig. — Etude des déformations des ouvrages en matériaux parfaitement plastiques dans le domaine non élastique. Abaques des déformations de poutres rectangulaires en fonction des charges. — E. 49057. CDU. 624.044 : 624.07 : 539.5.

Procédés de calcul.

28-111. Le calcul des voiles cylindriques circulaires sans utilisation de tables des valeurs limites (Die Berechnung von Kreiszyllinderschalen ohne Benutzung von Randwerttafeln). GRÜNING (G.); *Bauplan.-Bautech.*, All. (juil. 1957), n° 7, p. 297-300, 330, 4 fig., 7 réf. bibl. — E. 48618. CDU. 624.04 : 624.074.4/7 : 624.078.5.

29-111. Calcul au voilement conformément à la norme DIN 4114 à l'aide d'un nomogramme suivant Massonnet et Greisch (Beulstabilitätsberechnung entsprechend der DIN 4114 mit Hilfe eines Nomogramms nach Prof. Dr. Massonnet und R. Greisch). WALTER (H.); *Stahlbau*, All. (août 1957), n° 8, p. 228-232, 5 fig., 3 réf. bibl. — E. 49222. CDU. 624.04 : 624.075.3 : 624.014.2.

30-111. Méthode de calcul à la rupture ou selon le coefficient de charge (An ultimate-load or load-factor method of design). BARTLETT (R. I.); *Concr. Constr. Engng.* G.-B. (août 1957), vol. 52, n° 8, p. 279-287, 5 fig. — E. 49144. CDU. 624.04 : 539.5.

31-111. Un calculateur électrique pour ossatures rigides (An electrical analyser for rigid frameworks). BRAY (J. W.); *Struct. Engr. G.-B.* (août 1957), vol. 35, n° 8, p. 297-311, 36 fig., 6 réf. bibl. — Appareil basé sur l'analogie électrique, donnant par simple lecture les moments fléchissants dans un élément quelconque de l'ossature. Description et explication de la méthode d'application à l'aide d'exemples typiques. — E. 49009. CDU. 624.04 : 518 : 537 : 693.89.

32-111. Rideaux de palplanches maintenues par des liaisons le long de lignes situées au-dessus de l'ancrage (Sheet-pile walls subject to line resistance above the anchorage). ROWE (P. W.); *Proc. Instn civ. Engrs.* G.-B. (août 1957), vol. 7, p. 879-896, 17 fig., 4 réf. bibl. — Etude théorique et expérimentale du mode de calcul des rideaux de palplanches maintenues à certains niveaux par des lignes d'étais ou de tirants. — E. 49236. CDU. 624.04 : 624.155/37 : 624.078.8.

33-111. Influence de la symétrie et de la répétition dans la simplification du calcul des structures (The effect of symmetry and repetition in simplifying the analysis of structures). WOLF (S.); *Struct. Engr. G.-B.* (sep. 1957), vol. 35, n° 9, p. 357-363, 19 fig. — E. 49446. CDU. 624.04/01.

34-111. Calcul simplifié des poteaux (Column design simplified). PIAN (R. H. J.); *J. Struct.*

Div., U. S. A. (mai 1957), vol. 83, n° ST3 : *Proc. A. S. C. E.*, Pap. 1231, 15 p., 6 fig., 6 réf. bibl. — Etude du calcul des poteaux dans le domaine élastique, et établissement d'un abaque permettant de simplifier ce calcul. — E. 48149. CDU. 624.04 : 624.072.3.

35-111. Le dimensionnement des poteaux en béton armé comprimés, notamment du point de vue de la flexion biaxiale (Die Bemessung von gedrückten Stahlbetonsäulen mit besondere Berücksichtigung der zweiachsigen Biegung). OUVRIER (E.); *Bautechnik*, All. (juil. 1957), n° 7, p. 261-264, 17 fig. — E. 48863. CDU. 624.04 : 624.072.3 : 624.012.45.

36-111. Une simplification du procédé du point fixe (Ein vereinfachtes Festpunktverfahren). MARTINS (W.); *Beton Stahlbetonbau*, All. (août 1957), n° 8, p. 188-192, 16 fig., 3 réf. bibl. — Procédé de calcul des poutres continues et des portiques. — E. 49229. CDU. 624.04 : 624.072.2/33 : 624.075.

37-111. Calcul des poutres reposant sur fondation élastique par la méthode des paramètres spéciaux (Calculo de vigas sobre fundacion elastica por el metodo de parametros especiales). ZAGUSTIN (A.), LAMAR (S.); *Col. Ingros. Venez.* (mai 1957), n° 254, p. 30-34, 6 fig., 5 réf. bibl. — E. 49190. CDU. 624.04 : 624.072.2 : 624.15 : 539.3.

38-111. Calcul des poutres-cloisons d'après le procédé de l'assemblage (Berechnung wandartiger Träger nach dem Zusammensetzverfahren). VALENTIN (W.); *Beton-Stahlbetonbau*, All. (août 1957), n° 8, p. 176-182, 15 fig., 2 réf. bibl. — La poutre est considérée comme formée de poutres partielles que l'on calcule séparément et que l'on compose ensuite pour obtenir la poutre totale. — E. 49229. CDU. 624.04 : 624.072.2 : 624.078.

39-111. Sur la résolution itérative de problèmes de la théorie des déformations (Zur iterativen Lösung von Problemen der Verformungstheorie). BÜRGERMEISTER (G.), STEUP (H.); *Stahlbau*, All. (juil. 1957), n° 7, p. 183-187, 21 fig. — Emploi de la théorie de la déformation du deuxième ordre pour le calcul des portiques à deux articulations. — E. 48869. CDU. 624.04 : 624.072.33 : 624.078.6.

40-111. Calcul des portiques de bâtiments à plusieurs étages (Analysis of multistory building frames). HICKERSON (T. F.); *J. Struct. Div.*, U. S. A. (mai 1957), vol. 83, n° ST3 : *Proc. A. S. C. E.*, pap. 1233, 19 p., 12 fig. — Méthode approchée de calcul rapide basée sur le théorème des variations de pente. — E. 48149. CDU. 624.04 : 624.072.33 : 721.011.26/7.

41-111. Méthode générale de calcul des planchers-champignons et des plaques (General method for analysis of flat slabs and plates). BROTHIE (J. F.); *J. A. C. I.*, U. S. A. (juil. 1957), vol. 29, n° 1, p. 31-50, 15 fig., 5 réf. bibl. — Exposé d'une théorie pour le calcul des moments, des efforts de cisaillement et des déformations, présentation d'une méthode applicable aux planchers-champignons et aux plaques en béton armé. — E. 49235. CDU. 624.04 : 69.025.22 : 624.073 : 624.012.45.

42-111. Prévention de la rupture des charpentes métalliques des bâtiments industriels sous la charge de leur poids propre et de celui de la neige (en russe). — CHAPIRO (G. A.); *Stroït.-Promyshlen.*, U. R. S. S. (1957), n° 5, p. 22-27, 9 fig. — E. 48243. CDU. 624.042/6 : 624.014.2 : 725.4.

43-111. Contribution au calcul approché des barrages à double courbure (Beitrag zur Näherungsberechnung doppelt gekrümmter Staumauern). HERZOG (M.); *Bautechnik*, All. (août 1957), n° 8, p. 298-301, 7 fig., 22 réf. bibl. — E. 49223. CDU. 624.04 : 627.8 : 624.072.4.

44-111. Dimensionnement des revêtements routiers (Dimensionering af kørebanebelægninger). LUDVIGSEN (M.); *Dansk Vejtidskrift*, Danm. (1957), n° 6, p. 105-122, 19 fig., 8 réf. bibl. — Etude des problèmes posés par l'accroissement du trafic et du poids des véhicules. Caractéristiques des matériaux routiers et épaisseur des revêtements. — Critères de portance des routes, méthodes américaines et anglaises. Théorie de Boussinesq, coefficient d'élasticité du sol de fondation. Méthode d'équivalence de Odemark. Dimensionnement des revêtements en béton par la méthode de Westergård. — E. 48617. CDU. 624.04 : 625.8 : 620.1.

45-111. Application et développement des spécifications de l'American Association of State Highway Officials (A. A. S. H. O.) au calcul des ponts (Application and development of A. A. S. H. O. specifications to bridge design). ERICKSON (E. L.), VAN EENAM (N.); *J. Struct. Div.*, U. S. A. (juil. 1957), vol. 83, n° ST4 : *Proc. A. S. C. E.*, pap. 1320, 38 p., 5 fig., 30 réf. bibl. — Application des spécifications de l'Association Américaine des Fonctionnaires des Services Vicinaux au calcul des ponts et indications sur l'évolution des différentes dispositions. Exemples des ponts construits sur le réseau national de routes fédérales et de routes stratégiques. — E. 49058. CDU. 624.21.01 : 35 (73).

46-111. Calcul par approximations successives des valeurs β pour des systèmes hyperstatiques à nombre d'inconnues élevé. Détermination de la matrice β avec emploi de la théorie des systèmes hyperstatiques fondamentaux. I. II. (fin) (Rekursive Berechnung von β Werten für hochgradig statisch unbestimmte Systeme. Ermittlung der β Matrix unter Verwendung der Theorie der statisch unbestimmten Hauptsysteme). SOSSENHEIMER (H.); *Stahlbau*, All. (juil. 1957), n° 7, p. 195-202, 14 fig.; (août 1957), n° 8, p. 220-225, 2 fig., 19 réf. bibl. — E. 48869, 49222. CDU. 624.04 : 624.075 : 518.

47-111. Calcul des systèmes hyperstatiques reposant sur appuis déformables (constructions en bois) (en russe). *Annuaire Inst. Gén. civ.*, Bulg. (1955), vol. 7, n° 1, 143 p., 41 fig. — E. 47743. CDU. 624.04 : 624.075 : 624.078.5.

48-111. Le portique à étages à nœuds rigides sous charge dynamique harmonique (Der Stockwerkrahmen mit festgehaltenen Knoten und dynamischer harmonischer Belastung). POLZ (K.); *Bautechnik*, All. (août 1957), n° 8, p. 290-297, 17 fig. — E. 49223. CDU. 624.074.33 : 624.078 : 624.042 : 534.

49-111. Abaque pour le calcul des pièces en béton armé soumises à la flexion simple. FAVIER (P.); *Travaux*, Fr. (sep. 1957), n° 275, p. 472-478, 7 fig. — E. 49355. CDU. 624.04 : 624.012.45 : 518.

50-111. Sur le tracé des lignes d'influence des moments fléchissants et des efforts tranchants dans les poutres continues à liaisons non déplaçables (Sul tracciamento delle linee d'influenza dei momenti flettenti e degli sforzi taglianti nelle travi continue a vincoli non spostabili). FUXA (U.); *G. Gen. civ.*, Ital. (juin 1957), n° 6, p. 467-471, 5 fig. — Méthode simplifiée permettant le tracé des lignes d'influence en opérant uniquement sur des droites d'une détermination simple et immédiate. — E. 49398. CDU. 624.042/3 : 624.072.2 : 624.075.

Caf

Essais et mesures

51-111. Essai accéléré pour les bétons de ciment de Portland (An accelerated test for Portland cement concretes). KING (J. W. H.); *Civ. Engng.* G.-B. (août 1957), vol. 52, n° 614, p. 881, 1 fig. — Brèves indications sur un essai permettant, quelques heures après le gâchage, de prédire la résistance à 7 et à 28 jours. — E. 49218. CDU. 620.17 : 666.972.

52-111. Recherche sur l'appareil Carlson amélioré pour la mesure de la compression (Investigation of the improved Carlson stress meter). *Corps Engrs., U. S. Army Engr. Waterw. Experiment. Stn., U.S.A.* (mai 1957) Tech Rep. n° 6-454, 49 p., 27 fig., 3 réf. bibl. — Description des essais effectués en vue de déterminer si l'appareil peut être utilisé pour un béton contenant des agrégats de six pouces (15 cm). E. 49014.

CDU. 620.1.05 : 666.972.

53-111. Essais à la flexion poussés jusqu'à rupture de différents modèles de fermes en bois (Onderzoek van houten spanten op sterkte en doorbuiging). BOSCH (J. H. jr); *Polytech. T., Pays-Bas* (18 juil. 1957), n°s 29-30, p. 517B-521B, 7 fig. — E. 48890.

CDU 69.001.5 : 69.024.8 : 694.1.

54-111. Les mélanges semi-fermés à liant bitumineux. L'examen du désenrobage par un essai sous charge roulante. DABIN (J.); *Centre Rech. rout.*, Belg. (déc. 1956), Rapp. Rech., iii + 74 p., 46 fig., 25 réf. bibl. — Étude des facteurs influençant la résistance au désenrobage des revêtements routiers, description de la méthode adoptée pour cette étude. Description d'essais, raisons ayant conduit à l'adoption de l'essai sous charge roulante d'origine britannique dit « Immersion Wheel Tracking Test ». — E. 49327.

CDU. 625.8.06/7 : 69.001.5.

55-111. Revêtements semi-fermés expérimentaux. Porphyre et cut-back de bitume. DABIN (J.); *Centre Rech. rout.*, Belg. (15 déc. 1956), Rapp. Rech., iii + 70 p., 51 fig., 8 réf. bibl. — Compte rendu de recherches sur une route expérimentale constituée de 52 sections de compositions différentes. Examen critique de la qualité des matériaux et des engins de chantier, aptitude au désenrobage des matériaux, problèmes de stabilité et de glissance des tronçons expérimentaux. — E. 49328.

CDU. 625.8.06/7 : 69.001.5.

56-111. Considérations sur les caractéristiques des mortiers d'asphalte (Considerazioni sulle caratteristiche dei mastici di asfalto). RIO (A.); CERRONE (M.); *G. Gen. civ.*, Ital. (juin 1957), n° 6, p. 472-480, 18 fig., 5 réf. bibl. — Résultats d'essais exécutés sur des éprouvettes préparées à l'aide de bitumes de même origine naturelle, mais d'indice de pénétration différents, et d'agrégats minéraux de types et de granulométrie différentes. — Discussion des résultats. — Intérêt de la lente maturation des asphaltes naturels. — E. 49398.

CDU. 691.16 : 620.16.

57-111. Résistance à la traction du béton (Direct tensile strength of concrete). HUMPHREYS (R.); *Civ. Engng., G.-B.* (août 1957), vol. 52, n° 614, p. 882-884, 6 fig., 9 réf. bibl. — Description d'une méthode d'essai étudiée à l'Université de Durham. Résultats. — E. 49218.

CDU 620.17 : 666.972.

58-111. Résultats d'expériences sur des poutres fléchies en dehors du régime de Hooke (béton armé) (Risultati di esperienze su travi inflesse in regime non di Hooke). MATILDI (P.); *G. Gen. Civ.*, Ital. (juin 1957), n° 6, p. 434-466, 58 fig., 34 réf. bibl. — Compte rendu d'une série d'expériences effectuées à l'Institut de la Science des Constructions de l'Université de Bari. — Comparaison avec des résultats obtenus par ailleurs; intérêt en ce qui concerne certains points controversés des méthodes modernes de calcul à la rupture des sections fléchies. — E. 49398.

CDU 620.17 : 624.072.2 : 624.012.45 : 539.4.

59-111. Etude expérimentale de la répartition des contraintes par la rupture de revêtements adhérents (Experimental study of stress distribution by rupture of adherent coatings). BORGES

(J. F.); *U. S. Dept. Inter., Bur. Reclamat. (Engng. Geological Control. Res. Div.)*, U. S. A. (7 août 1947). Traduit du Portugais, Lab. Rep. n° SP-14, Publ. n° 4, 16 p., 18 fig. (Réimpr. du « *Magaz. Tech.* ») — Observation des lignes de Lueder sur des spécimens en acier; rupture du vernis intervenant avant que la limite d'élasticité ne soit atteinte; concordance des lignes de rupture avec les lignes isostatiques; application à des matériaux autres que l'acier; signification de la densité de répartition des fissures. — E. 49154.

CDU 531.7 : 624.043 : 667.6.

60-111. Recommandations pour l'interprétation des essais de compression du béton coulé sur chantier (Recommended practice for evaluation of compression test results of field concrete). J. A. C. I., U. S. A. (juil. 1957), vol. 29, n° 1, p. 1-19, 12 fig. — Vue d'ensemble sur les nombreuses variations qui surviennent dans la résistance du béton, présentation des méthodes statistiques les plus appropriées pour l'interprétation de ces variations. — E. 49235.

CDU 69.058 : 666.972.

Ce MÉCANIQUE DES FLUIDES. HYDRAULIQUE

61-111. Tables pour l'hydraulique et les travaux de terrassement (Hydraulic and excavation. Tables). U. S. Dept. Inter., Bur. Reclamat. — U. S. Government Printing Office, U. S. A. (1957), 11^e éditn., 1 vol., 350 p. — Voir analyse détaillée B. 2285 au chapitre II « Bibliographie ». — E. 49155.

CDU 518 : 532.5 : 624.132 (03).

62-111. Caractéristiques de l'écoulement aux déversoirs et aux seuils à l'extrémité d'un canal horizontal (Characteristics of flow over terminal weirs and sills). KANDASWAMY (P. K.), ROUSE (H.); *J. Hydraul. Div.*, U. S. A. (août 1957), vol. 83, n° HY4 : *Proc. A. S. C. E.*, pap. 1345, 13 p., 7 fig., 15 réf. bibl. — Résultats d'expériences précisant la variation du coefficient de débit et le profil de la nappe, lorsque le rapport de la hauteur d'eau non retenue à l'épaisseur totale de l'écoulement plan varie d'une façon continue entre 0 et 1. — E. 49504.

CDU 532.5 : 621.646 : 626/7.

Ci GÉOPHYSIQUE

Cib Géologie. Minéralogie.

63-111. La géologie de la vallée du Mississippi. Son importance technique (Mississippi valley geology — Its engineering significance). KOLB (C. R.), SHOCKLEY (W. G.); *J. Soil Mech. Found. Div.*, U. S. A. (juil. 1957), vol. 83, n° SM3 : *Proc. A. S. C. E.*, pap. 1289, 14 p., 4 fig., 2 réf. bibl. — Importance croissante des renseignements géologiques pour la conception des ouvrages dans la basse vallée du Mississippi. — E. 49056.

CDU. 624.01 : 55.

Cib m Étude des sols.

64-111. Détermination de la fraction 0.02 mm dans les sols grenus (Determination of the 0.02 mm fraction in granular soils). JOHNSON (R. W.); *J. Soil Mech. Found. Div.*, U. S. A. (juil. 1957), vol. 83, n° SM3 : *Proc. A. S. C. E.*, pap. 1309, 10 p., 4 fig., 3 réf. bibl. — Emploi de l'analyse statistique pour déterminer la constante représentant le rapport du pourcentage de matériaux de moins de 0,02 mm au pourcentage passant au tamis n° 200. Résultats d'essais sur vingt-quatre sols avec les valeurs de la constante. — E. 49056.

CDU 624.131.3.

65-111. Etude du sol en vue de la construction d'une raffinerie de pétrole à La Havane

(Cuba) (Grondonderzoek ten behoeve van een te bouwen olieraffinaderij bij Havana, Cuba). *Lab. Grondmech. (L. G. M.)*, Pays-Bas (juil. 1957), n° 1, p. 11-38, 21 fig., réf. bibl. (résumé anglais). — E. 49120.

CDU 624.131.3 : 725.4. 662.75.

66-111. Contribution au calcul de la pression admissible sur le sol et des contraintes développées sous les semelles de fondation. — I. Pression admissible compte tenu de l'élargissement de la zone de déformation plastique. — II. Calcul approché des contraintes sous semelles de fondation (Beiträge zur Berechnung der zulässigen Bodenpressung und der unter den Gründungskörpern auftretenden Spannungen. I. Ueber die zufolge der Vergrößerung der plastischen Bereiche zulässige Bodenpressung. II. Annäherungsrechnungen zur Spannungsbestimmung unter geschlossenen Gründungskörpern). VARGA (L.); *Acta tech.*, Hongrie (1957), t. 18, n°s 1-2, p. 21-36, 5 fig., 2 réf. bibl., (résumés anglais, français, russe). — E. 49559.

CDU 624.131.5 : 624.15.

67-111. Participation du sol de fondation aux vibrations des systèmes chargés dynamiquement. Influence des ébranlements sur la poussée et la résistance des terres, Polz (K.); *Bautechnik*, All. (juin 1956), n° 6, p. 185-190. — (Traduction d'un article analysé dans notre DT. 100 de décembre 1956, article n° 81). — E. 48605. — Trad. EDF. n° 2397, 20 p., 5 fig.

CDU 624.131.5 : 624.15 : 534.

68-111. Un critère pour la vérification du processus de filtration à travers les digues en terre (Un criterio per la verifica alla filtrazione delle arginature in terra). MARCHI (E.); *G. Gen. civ.*, Ital. (juin 1957), n° 6, p. 426-433, 7 fig., 4 réf. bibl. — Influence du régime du cours d'eau sur la filtration à travers les digues fluviales. — Etablissement de formules permettant une vérification simple de la largeur des digues du point de vue de la filtration. — E. 49398.

CDU 624.131.6 : 627.5/4 : 532.

69-111. Vérification de la pression orogénique lors du creusement de tunnels en terrain non cohérent (Eine Nachprüfung des Gebirgsdruckes bei rolligem Gebirge). BIRKEL (F.); *Bauingenieur*, All. (août 1957), n° 8, p. 297-300, 3 fig., 3 réf. bibl. — E. 49356.

CDU 624.043 : 624.19 : 531.7.

70-111. Le tassement du sol dans la ville de Mexico et ses répercussions sur les systèmes de fondation (El hundimiento del suelo en la ciudad de Mejico y su repercussion en los sistemas de cimentacion). MACAU VILAR (F.); *Rev. Obras publ.*, Esp. (sep. 1957), n° 2909, p. 473-484, 9 fig., 1 fig. h.-t., 19 réf. bibl. — Etude des causes du tassement du sol et description des systèmes de fondations adoptés lors de la construction de bâtiments de grande hauteur à Mexico. — E. 49746.

CDU 624.131.542 : 624.159.3/4 : 721.011.27.

71-111. Influence de la nature du sol sur les mouvements sismiques (Effects of ground on earthquake motion). GUTENBERG (B.); *Bull. Seismol. Soc. Amer.*, U. S. A. (juil. 1957), vol. 47, n° 3, p. 221-250, 27 fig., 22 réf. bibl. — Résultats comparés d'études sismographiques à des terrains de différentes constitutions. — E. 49414.

CDU 550.3 : 624.131.

72-111. Interaction des bâtiments et du sol pendant un tremblement de terre (Interaction of building and ground during an earthquake). HOUSNER (G. W.); *Bull. Seismol. Soc. Amer.*, U. S. A. (juil. 1957), vol. 47, n° 3, p. 179-186, 12 fig., 4 réf. bibl. — Etude de spectres, Influence de la rigidité et des dimensions des bâtiments. — E. 49414.

CDU 699.841 : 721 : 550.3.

73-111. Nomogramme de la formule de Schoklitsch pour le calcul des affouillements sous les chutes d'eau (Nomograma de la formula de

Schoklitsch para el calculo de socavaciones bajo caídas de agua). SARDI SOCORRO (V. A.); *Col. Ingres, Vénéz.* (mai 1957), n° 254, p. 36-37, 1 fig. — E. 49190.

CDU 624.134 : 532.5 : 626.01.

Cic Surface du globe. Hydrographie. Érosion.

74-111. *Annuaire hydrologique de l'Algérie — Année 1955-56. — Gouvern. gén. Algérie (Dir. Hydraul. Equip. Rural Algérie — Serv. Et. Sci.)* Algér. (1957), 200 p., nombr. fig. — Exposé d'ensemble sur les mesures climatologiques et hydrologiques effectuées dans les différents bassins. Monographie de l'Oued Mina. — E. 49312. — CDU 55 : 627. (65) (058.2).

Cid Atmosphère. Météorologie. Climatologie.

75-111. *Les caractéristiques climatiques et le bâtiment* (Klimadaten als Hilfsmittel im Bauwesen). REIDAT (R.); *Gesundheitsingenieur*, All. (10 juil. 1957), nos 13-14, p. 200-203, 6 fig., 1 réf. bibl. — Étude du Service Météorologie allemand sur les caractéristiques climatiques à l'usage du bâtiment. Importance de l'ensoleillement, des vents, des précipitations. — E. 48810. — CDU 551.5 : 697.1.

Cif Topographie. Tracé des ouvrages.

76-111. *Triangulation cadastrale*. GABET (J.); Edit. : Eyrolles, Fr. (1957), 1 vol., 236 p., 135 fig. — Voir analyse détaillée B. 2281 au chapitre II « Bibliographie ». — E. 49696. — CDU 526 (03).

Co CONDITIONS GÉNÉRALES. SITUATION GÉOGRAPHIQUE. CONGRÈS.

Cod 1 Normalisation.

77-111. *Normes ASTM sur le ciment* (ASTM standards on cement). Edit. : American Society for Testing Materials, 1916 Race Street, Philadelphia 3, Pa., U. S. A. (fév. 1957), 1 vol. (15 × 23 cm), vii + 263 p., nombr. fig. § 3. — Recueil des normes de l'A. S. T. M. publié sous le patronage de sa Commission C-1 sur le ciment. Spécifications relatives aux différents types de ciments. Méthodes d'essais des ciments et mortiers (analyses chimiques, essais physiques et mécaniques). — E. 49237. — CDU 389.6 : 666.94 (73).

78-111. *Evolution des règlements techniques sur la construction en 1956 et en 1957* (Entwicklung der Technischen Baubestimmungen in den Jahren 1956 bis 1957). WEDLER (B.); *Bauwelt*, All. (23 sep. 1957), n° 38, p. 1021-1030, 84 réf. bibl. — Aperçu d'ensemble sur les modifications apportées aux normes allemandes : hypothèses de charges, sol de fondation, travaux de maçonnerie, construction métallique, construction mixte, construction en bois, solutions thermique et acoustique, éclairage et ventilation, protection contre l'incendie. — E. 49666. — CDU 389.6 : 69 (43).

79-111. *Bâtiments métalliques. Exécution* (Stahlhochbauten. Ausführung). *Deutscher Normenausschuss*, All. (mars 1956), norme allemande DIN 1000, 4 p., 5 fig. — Texte de cette norme. — Mise en œuvre du matériau, assemblages rivés, boulonnés ou soudés. Nettoyage et protection des surfaces, montage. — E. 49605. — CDU 624.014.2 : 721 : 389.6 (43).

Cod m Cahiers des charges. Contrats.

80-111. *Cahier des prescriptions communes applicables aux travaux de gros œuvre*. — E. D. F. Fr. (jan. 1957), 47 p. — Provenance, qualité et préparation des matériaux : pierres, agrégats, enrochements, liants hydrauliques, bois, acier, peintures anti-rouille. — Mode d'exécution : installation de chantiers, terrassements, chaussées et terre-pleins, maçonneries, coffrages, armatures, joints, chapes, forages, injections, charpentes métalliques, travaux à la mer. — Mode d'évaluation des travaux. — E. 49610. — CDU 69.003.23 : 624 : 621.311.

Cof Études générales. Congrès.

81-111. *Comptes rendus du Quatrième Congrès international de Mécanique des Sols et des Travaux de Fondations*, Londres 12-24 août 1957. — Vol. I-II. — Edit. : Butterworths sci. Publ., G.-B. (1957), vol. I, 466 p. — Vol. II, 467 p., nombr. fig., nombr. réf. bibl. — Textes en français et en anglais. — Voir analyse détaillée B-2286 au chapitre II « Bibliographie ». — E. 49465, 49466.A. — CDU 624.131 (061.3).

82-111. *Bétonnage en hiver. Analyse des communications présentées par écrit au Colloque de Copenhague, février 1956*. I. II. BRUNET; — *Bull. R. I. L. E. M.*, Fr. (1956), n° 32, p. 1-82, 50 fig. (1956), n° 33, p. 1-69, 93 fig. — Conditions climatiques intéressant le bétonnage d'hiver,

essais de laboratoire sur la gélivité du béton, durcissement du béton en fonction de la température, résistance du béton au gel au début de son durcissement, amélioration de la résistance du béton au gel, bétonnage d'hiver sur les chantiers. Réalisations. — Texte des annexes : Essais de résistance du béton frais soumis au gel, avantages du ciment HRI pour le bétonnage par temps froid, résistance au gel (variation de volume), facteur de résistance au gel (durabilité) influence de la température sur la chaleur d'hydratation du béton, durcissement du béton en fonction de la température, détermination des délais de décoffrage, influence de la température de l'eau de gâchage sur la prise, la consistance, la résistance et la chaleur d'hydratation du béton, expériences relatives au traitement électrique du béton, effet du traitement initial du béton sur sa résistance au gel, effet de la protection sur un béton conservé à une température de 20°F (−6,7° C), maintien de la température du béton par isolation. — E. 46112, 46121. — CDU 69.03 « 324 » : 693.5 : 061.3.

83-111. *Cinquième Congrès international des grands Barrages*, mai-juin 1955. — Vol. I. Question n° 16. *Projet et construction de barrages sur sols perméables et méthodes de traitement de la fondation*. — Vol. II. Question n° 17. *Bilan économique et sécurité des différents types de barrages en béton*. — Vol. III. Question n° 18. *Tassement des barrages dû à la compressibilité des matériaux constitutifs du barrage ou de la fondation, y compris les questions liées aux tremblements de terre*. — Vol. IV. Question n° 19. *Effet du dosage en ciment sur le comportement observé, a) des barrages-poids — intérieur et extérieur — b) des barrages-voûtes, c) des barrages à contreforts, et influence de ce dosage sur la perméabilité et la résistance au gel*. — *Commis. internation. grands Barrages Confér. mond. Energie*, Fr. Vol. I (1956), 896 p. — Vol. II. (1956), 431 p., Vol. III (1957), 627 p. — Vol. IV (1957), 1537 p.; nombr. fig. — Textes en français et en anglais. — Voir analyse détaillée B. 2284 au chapitre II « Bibliographie ». — E. 49287, 49288, 49289, 49290. — CDU 627.8 (061.3).

Cof m Annales, Dictionnaires. Catalogues. Bibliographie

84-111. *Catalogues Gillette classés de la Construction, 1957* (Gillette's world construction prefilled catalogs 1957). *Gillette Catalog Serv.*, U. S. A. (1957), 117 p., nombr. fig. — Recueil de catalogues de matériel de travaux publics et de produits utilisés dans la construction aux U. S. A., groupant la publicité de nombreuses firmes américaines. — E. 49166. — CDU 621.8/9 (02).

D. — LES ARTS DE LA CONSTRUCTION

Dab MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION

85-111. *Nouveaux matériaux de construction : du pouzzolane au polyéthylène*. PARKER (T. W.); *Build. Mater. Dig.*, G.-B. (jan. 1954), vol. 14, n° 1, p. 14-16; (fév. 1954), n° 53-54. — Aperçu sur les besoins en matériaux nouveaux à l'heure actuelle, caractéristiques de nouveaux types de revêtements de sol, nouvelles peintures, emplois du béton léger. Généralités sur les matières plastiques dans le bâtiment. — E. 48953. — Trad. C. S. T. B. T. 79, 12 p. — CDU 691 : 721.

Dab j Matériaux métalliques.

86-111. *Poutrelles IPE*. GORHEZ (J. N. de); *Acier*, Fr. (sep. 1957), n° 9, p. 357-361, 8 fig. — Exposé des raisons qui ont amené à remplacer la série IPN par la série IPE; caractéristiques des poutrelles IPE. — E. 49516. — CDU 624.072 : 624.014.2 : 389.6.

87-111. *Guide pratique pour l'utilisation du tube d'acier*. — *Editin Chambre syndic. Fabric. Tubes Fer Acier*, Fr. (1956), 5^e édit. rev. et compl., 1 vol., 202 p., 110 fig. — Voir

analyse détaillée B. 2283 au chapitre II « Bibliographie ». — E. 49686. — CDU 621.77 : 69 (03).

88-111. *Le plomb dans le bâtiment*. DAUPHIN (P.); *Centre Lutte Corros. (Soc. Chim. industr.)* Fr., *Cours Postuniversitaires Format. professionn. Cadres, Cycles B et L* (B : Ingrs et Chefs d'Entretien, L : Architecture), 15 p., 9 fig. — Aperçu historique, caractéristiques physiques et mécaniques du plomb, domaines d'emploi du plomb dans le bâtiment : tuyauterie, couvertures, isolement acoustique et vibratoire, revêtements de protection. Incidents observés et leurs causes. Cas de corrosion du plomb. — E. 49292. — CDU 691.74 : 69.

Dab le Liants. Chaux. Plâtre. Ciments.

89-111. Ciments aux pouzzolanes à haute résistance chimique et durcissement normal. Applications à la fabrication de ciments aux cendres volantes. FOUILLOUX (P.); *Rev. Matér. Constr., Editin. C. Fr.* (juil. 1957), n° 502, p. 191-195. — E. 49029. CDU 666.94 : 691.545.

90-111. Boisseaux pour conduits de fumée en béton de pouzzolane. — *Carrières du Centre (Compagnie des Sablières de la Seine)*, 2, q. Henri IV, Paris, Fr., 7 p., 2 fig., 9 réf. bibl. — Généralités, conditions d'agrément, forme et dimensions des boisseaux, composition granulométrique et dosage. Mise en œuvre, pose des boisseaux. Essais. — E. 49321. CDU 697.81 : 691.327 : 666.973 : 691.545.

Dab mo Matières plastiques.

91-111. Rôle et utilisation des plastiques dans la lutte contre la corrosion. ARLET (F.); *Centre Lutte Corros. (Soc. Chim. industr.)*, Fr., (s. d.) *Cours Postuniversitaires Format. professionn. Cadres, Cycle A* : Format. gén., 19 p., 4 fig. — Etude des caractéristiques des trois types principaux de matières plastiques, domaines d'utilisation dans les différentes industries. — E. 49291. CDU 691.175 : 620.197.

Dad PROPRIÉTÉS GÉNÉRALES DES MATÉRIAUX

92-111. Revue de la littérature technique sur la pénétration de l'eau de pluie à travers les murs en maçonnerie (A review of literature on rain penetration of unit masonry). RITCHIE (T.), PLEWES (W. G.); *Nation. Res. Council Canada (Div. Build. Res.)*, Canad. (mai 1957), NRC n° 4336, *Div. Build. Res. Tech. Pap.* n° 47, 72 p., nombr. réf. bibl. — Passage de l'eau de pluie à travers les matériaux poreux ou à travers les fissures et ouvertures. Etude des maçonneries de briques; facteurs affectant la liaison entre briques et mortier, essais de laboratoire sur la pénétration de l'eau de pluie, essais de perméabilité. Maçonneries d'agglomérés de béton et maçonneries en pierre naturelle. Traitement des surfaces pour augmenter la résistance à la pénétration de l'eau de pluie. E. 48837. CDU 699.82 : 69.022.1 : 693.1/2.

Daf SÉCURITÉ DES CONSTRUCTIONS

Daf j Essais et mesures.

93-111. Au sujet du problème du contrôle et de l'appréciation des mélanges routiers bitumineux (Zur Frage der Untersuchung und Beurteilung von bituminösem Mischgut). ZICHNER (G.); *Strasse-Autobahn*, All. (août 1957), n° 8, p. 271-277, 5 fig. — Importance des essais de laboratoire, influence du prélèvement d'échantillons et du mode de travail des laboratoires, sources d'erreurs, influence de la variabilité des liants. — E. 49277. CDU 620.1 : 625.8.06/7.

Daf 1 Corrosion.

94-111. Corrosion des canalisations souterraines par les courants vagabonds (Stray-current corrosion of underground distribution systems). BARRON (D. W.); *J. Amer. Wat. Works Ass.*, U. S. A. (juil. 1957), vol. 49, n° 7, p. 881-886, 1 réf. bibl. — Exposé du problème et mesures à prendre pour combattre la corrosion. — E. 49191. CDU 620.193 : 621.643.2 : 624.134 : 537.

Daf m Stabilité des constructions.

95-111. Sur une forme possible d'instabilité de l'équilibre élastique dans les poutres (Su una possibile forma di instabilità dell'equilibrio elastico nelle travi). CATTIN (A.); *G. Gen. civ., Ital.* (avr.-mai 1957), nos 4-5, p. 289-302, 3 fig. — E. 48972. CDU 624.04 : 624.072.2 : 539.3.

Deb INFRASTRUCTURE ET MACONNERIE

Deb ja Consolidation du sol. Assèchement. Drainage. Travaux hydrologiques.

96-111. Recherche d'une méthode économique de stabilisation d'un sol (Stabilizing a problem soil cheaply). LYONS (J. W.); *Engng News-Rec.*, U. S. A. (15 août 1957), vol. 159, n° 7, p. 101-102, 105-106, 5 fig. — Brèves indications sur des essais actuellement en cours sur la stabilisation chimique des argiles. — E. 49308. CDU 624.138 : 661 : 691.4.

97-111. Consolidation des sols sableux imbibés d'eau à l'aide de suspensions de ciment additionnées de substances surfactives (en russe). ADAMOVITCH (A. N.); *C. R. Acad. Sci., U. R. S. S.* (1952), t. 87, n° 1, p. 77, 1 fig., 6 réf. bibl. — Description de la méthode de cimentation destinée à diminuer la perméabilité et à augmenter la résistance des sols de fondation des ouvrages hydrauliques. Avantages du procédé. — E. 48449. — Trad. Serv. Docum. Ponts Chauss. n° 1171, 6 p. — CDU 624.138 : 666.94 : 661.

98-111. Revue des théories relatives au drains de sable (A review of the theories for sand drains). RICHART (F. E. J.); *J. Soil Mech. Found. Div.*, U. S. A. (juil. 1957), vol. 83, n° SM3 : *Proc. A. S. C. E.*, Pap. 1301, 38 p., 14 fig., 19 réf. bibl. — Etude des différentes théories de la consolidation verticale due à l'écoulement vertical et à l'écoulement radial de l'eau vers un drain de sable. Discussion de ces théories, interprétation. — E. 49056. CDU 624.138 : 626.86 : 691.223.

99-111. Drains horizontaux sur les routes de Californie (Horizontal drains on California highways). SMITH (T. W.); STAFFORD (G. V.); *J. Soil Mech. Found. Div.*, U. S. A. (juil. 1957), vol. 83, n° SM3 : *Proc. A. S. C. E.*, pap. 1300, 26 p., 11 fig., 4 réf. bibl. — Méthodes d'installation, perfectionnement du matériel, aspects techniques et intérêt des drains horizontaux pour la prévention des glissements de terrain. Revue des progrès de ces seize dernières années. — E. 49056. CDU 625.78.

100-111. Le rabattement de la nappe aquifère « Biscayne » de Miami (Dewatering Miami's Biscayne aquifer). PRUGH (B. J.); *J. Soil Mech. Found. Div.*, U. S. A. (juil. 1957), vol. 83, n° SM3 : *Proc. A. S. C. E.*, pap. 1299, 15 p., 11 fig., 4 réf. bibl. — La nappe aquifère de Miami et ses environs. Emploi de puits filtrants pour son rabattement en vue de l'exécution de fouilles très importantes. — E. 49056. CDU 624.138 : 624.131.6 : 628.11.

Deb je Terrassements. Percements.

101-111. Guide des remblais (Backfill guide). PECK (R. B.), IRELAND (H. O.); *J. Struct. Div.*, U. S. A. (juil. 1957), vol. 83, n° ST4 : *Proc. A. S. C. E.*, pap. 1321, 10 p., 8 fig. — Importance du remblai. Justification des méthodes de remblayage spécifiées. Erreurs à éviter. — E. 49058. CDU 624.135.

Deb ji Fondations.

102-111. Etude des fondations du bâtiment de la Cie Shell, à Londres (Design of the foundations of the Shell building, London). WILLIAMS (G. M. J.); *Engineer*, G.-B. (30 août 1957), vol. 204, n° 5301, p. 298-299, 5 fig. — Caractéristiques du sol et étude du système de fondations de cet immeuble de vingt-sept étages en cours de construction. — E. 49388. CDU 624.15 : 721.011.27.

103-111. Fondations d'une maison sur de l'argile sujette au retrait (House foundations on shrinkage clays). B. R. S. Dig., G.-B. (fév. 1949), n° 3, 7 p. — (Traduction d'un art. analyse dans notre DT. 25 de juin 1949, art. n° 102). — E. 48952. — Trad. C. S. T. B. n° T. 75, 8 p. CDU 624.15 : 728.3 : 691.4.

104-111. Fondations par caissons avec réduction du frottement au moyen de liquides thixotropiques (Senkkastengründung mit Reibungsverminderung durch thixotrope Flüssigkeiten). LORENZ (H.); *Bautechnik*, All. (juil. 1957), n° 7, p. 250-253, 8 fig., 2 réf. bibl. — Description illustrée de plusieurs cas pratiques d'application de la méthode. Son emploi dans la construction de conduites horizontales. — E. 48863. CDU 624.157.2 : 620.191.

105-111. Rideaux de palplanches dans l'argile (Sheet-pile walls in clay). ROWE (P. W.); *Proc. Instn. civ. Engrs.*, G.-B. (juil. 1957), vol. 7, p. 629-654, 15 fig., 2 fig. h.-t., 16 réf. bibl. — Etude théorique sur la stabilité des rideaux de palplanches dans l'argile. — E. 48779. CDU 624.04 : 624.155 : 691.4.

106-111. Rapport d'enquête sur les affouillements des piles de ponts provoqués par les inondations de 1955 (aux U. S. A.) (Report on investigation of scour at bridges caused by floods of 1955). MOULTON (L. K.), BELCHER (C.), BUTLER (B. E.); *Highw. Res. Abstr.*, U. S. A. (sep. 1957), vol. 27, n° 8, p. 14-31, 11 fig., 5 réf. bibl. — Compte rendu d'une enquête ayant porté sur soixante-quinze ponts endommagés ou détruits à la suite des inondations dans le Connecticut en août et octobre 1955. Etude théorique des affouillements. — E. 49684. CDU 624.21.059.2 : 627.51 : 624.131.542.

107-111. Sur le calcul du tassement d'une plaque circulaire rigide, chargée axialement, reposant sur un sol stratifié (Zur Berechnung des Setzung einer starren, mittig belasteten Kreisplatte auf geschichteter Unterlage). FISCHER (K.); *Beton-Stahlbetonbau*, All. (août 1957), n° 8, p. 192-195, 7 fig., 3 réf. bibl. — E. 49229. CDU 624.131.542 : 624.15.

108-111. Pieux en béton précontraint pour une jetée (Pretensioned piles for navy pier). REMINGTON (W. F.); *Civ. Engng.*, U. S. A. (août 1957), vol. 27, n° 8, p. 52-53, 3 fig. — Brève description de pieux en béton précontraint utilisés dans la construction d'une jetée du port de guerre de Long Beach (Californie). Avantages de leur emploi. — E. 49399. CDU 624.155 : 693.56 : 627.52.

Deb la Agrégats divers.

109-111. Critères de qualité des gros granulats. — *Centre Rech. rout.*, Belg. (déc. 1956), Rapp. Rech., 63 p., 26 fig. — Etude des caractéristiques à exiger des agrégats routiers. Prescriptions granulométriques des calibres normalisés, conditions d'assimilation des graviers concassés aux autres pierres concassées, compte rendu d'essais ayant porté sur des agrégats de divers calibres. — E. 49294. CDU 691.322 : 625.7 : 620.1.

Deb li Bétons.

110-111. Recherches sur la composition du béton employé pour la construction du barrage de Bhakra (Concrete mix design investigations

for Bhakra dam.) KHANNA (R. L.), PURI (M. L.); *Ind. Concr. J.*, Inde (août 1957), vol. 31, n° 8, p. 250-256, 18 fig. — Caractéristiques des matériaux, appareils d'essais, résistance et module d'élasticité du béton. — E. 49694.

CDU 693.542 : 627.8 : 620.1.

111-111. Emploi dans le béton de masse d'agréats de la grosseur maximum (The use in mass concrete of aggregate of large maximum size). McINTOSH (J. D.); *Civ. Engng.*, G.-B. (sep. 1957), vol. 52, n° 615, p. 1011-1015, 4 fig., 32 réf. bibl. — Agrégats, granulométrie, composition du béton, essais. — E. 49640.

CDU 693.542 : 691.322.

112-111. La teneur en eau du béton frais. NYCANDER (P.); *Betong*, Suède (1956), n° 2, p. 107-120 (Traduction d'un article analysé dans notre DT. 100 de déc. 1956, art. n° 153). — E. 48606. — Trad. E. D. F. n° 2274, 16 p., 7 fig., 4 réf. bibl. — E. 49640.

CDU 693.542.

113-111. Sur l'effet du gel et des sels de déverglacement sur le béton sans et avec entraîneurs d'air. I. II. (fin) (Ueber die Wirkung von Frost und Tausalzen auf Beton ohne und mit luftporbildenden Zusatzmitteln). HARTMANN (E.); *Zement Kalk-Gips*, All. (juil. 1957), n° 7, p. 265-281, 15 fig.; (août 1957), n° 8, p. 314-323, 5 fig., 263 réf. bibl. (résumés anglais, français). — Thèse de l'École Polytechnique de Stuttgart. — Revue des théories et expériences précédentes. Nouveaux essais exécutés et discussion des résultats. — E. 49000, 49339.

CDU 620.193 : 625.84 : 699.83 : 661.

114-111. Le béton et le ciment dans l'eau de mer (Beton und Zement im Seewasser). KRONSEIN (W.); *Zement-Kalk-Gips*, All. (juil. 1957), n° 7, p. 228-291, 1 fig., (résumés anglais, français). — Bref exposé d'essais exécutés avec différents ciments utilisés sous forme de bétons dosés à 300 kg/m³. Discussion des résultats. — E. 49000.

CDU 620.193 : 666.972 : 627.24.

115-111. Analyse de la notice du Ministère des Travaux publics concernant les joints des chaussées en béton de ciment. — *Monit. Trav. publ. Bâtim.*, Fr. (21 sep. 1957), n° 38, p. 27, 29, 31, — E. 49673.

CDU 693.5.012.43 : 625.84 : 351.

116-111. Limitation des effets des variations de volume des maçonneries en béton par des joints régulateurs (Control joints regulate effects of volume change in concrete masonry). MANSFIELD (G. A.), SIRRINE (C. A.), WILK (B.); *J. A. C. I.*, U. S. A. (juil. 1957), vol. 29, n° 1, p. 59-70, 12 fig. — E. 49235.

CDU 693.5.012.43.

117-111. Le Congrès international de Wiesbaden du béton manufacturé. — *Monit. Trav. publ. Bâtim.*, Fr. (7 sep. 1957), n° 36, p. 37, 39. — Textes résumés de deux conférences, sur le retrait du béton (E. V. MEYER, E. C. NIELSEN), et sur les changements de longueurs et de tensions par la contraction et le retrait du béton (K. WALZ). — E. 49468.

CDU 666.972.015.46 : 624.043/4.

118-111. Que savons-nous de la déformation plastique et du fluage du béton? — L'HERMITE (R.); *Ann. I. T. B. T. P.*, Fr. (sep. 1957), n° 117, (Béton-béton armé : 46), p. 777-810, 42 fig. — Synthèse d'une documentation extraite d'une centaine d'ouvrages français et étrangers et de travaux de l'auteur, relative au problème de la déformation plastique et du fluage du béton. On examine les effets de la composition du béton, du mode de conservation, du volume sollicité, de l'âge du béton, de la grandeur et de la durée des chargements et déchargements, ainsi que le fluage sous différents systèmes de contrainte, qui paraît être un phénomène hydro-constructif covariant avec le retrait. On décrit les appareillages utilisés et on présente de nombreux résultats expérimentaux. Enfin une théorie est proposée. — E. 50189.

CDU 666.972.015.46.

119-111. Les méthodes de coffrage (Form construction practices). PROCTOR (J. R. jr), DOE (N. L.), JOHNSON (R. C.), McCLOSKEY (J. C. jr), SHARRAR (O. G.); *J. A. C. I.*, U. S. A. (juin 1957), vol. 28, n° 12, p. 1105-1118. — Examen des méthodes appliquées dans la construction, la conception et l'emploi des coffrages, effectué par une sous-commission de l'American Concrete Institute, d'après les réponses fournies à un questionnaire. — E. 48862.

CDU 69.057.5 : 693.5.

120-111. Confection, manutention et contrôle du béton au barrage de Bhakra (Inde) (Concrete manufacture, handling and control at Bhakra dam). *Ind. Concr. J.*, Inde (août 1957), vol. 31, n° 8, p. 241-249, 15 fig. — Étude des chantiers de bétonnage. — E. 49694.

CDU 693.5/542 : 627.8 : 620.1.

121-111. Influence d'un enduit étanche à l'eau sur la durabilité du béton (Effect of the waterproof coating on concrete durability). MITCHELL (W. G.); *J. A. C. I.*, U. S. A. (juil. 1957), vol. 29, n° 1, p. 51-57, 3 fig., 7 réf. bibl. — Des essais d'alternance de gel et de dégel sur des poutres enduites de caoutchouc synthétique ont montré que celles-ci avaient une durabilité bien supérieure à celles des spécimens non enduits. — E. 49235.

CDU 620.197 : 691.32 : 699.82.

122-111. Emploi de schiste calciné comme pouzzolane dans le béton de masse (The use of calcined shale as pozzolana in mass concrete). KHANNA (R. L.), PURI (M. L.); *Ind. Concr. J.*, Inde (août 1957), vol. 31, n° 8, p. 257-260, 263, 10 fig., 5 réf. — E. 49694.

CDU 693.542 : 666.971.32 : 691.322.

123-111. P, comme pouzzolane. Le béton caveau de pouzzolane léger et porteur donnera à vos constructions, isolation, économie. — *Compagnie des Sablières de la Seine*, 2, quai Henri IV, Paris, Fr. (s. d.), 22 p., 10 fig. — Utilisations, caractéristiques, compositions granulométriques et dosages, mise en œuvre, agglomérés, précautions pour joints et enduits, économies sur matériaux classiques, béton banché, retrait, formes de pente pour toitures-terrasses. — E. 49323.

CDU 666.973 : 691.545.

Deb lu Bétons bitumineux, enrobés.

124-111. Sur une méthode de calcul de la quantité de bitume nécessaire dans les revêtements asphaltiques (Ueber eine Methode zur Bemessung der erforderlichen Bitumenmenge in Asphaltbelägen). BEDEKOVIC (V.); *Bitumen*, All. (juil. 1957), nos 5-6, p. 120-126, 10 fig., 10 réf. bibl. — E. 49302.

CDU 625.75 : 691.16.

Deb ne Béton armé.

125-111. Essais effectués pour déterminer l'influence de la forme des pièces en béton sur leur résistance à la compression (Versuche über den Einfluss der Gestalt von Betonkörpern auf die Druckfestigkeit). WALK (K.); Édité : *Wilhelm Ernst und Sohn*, All. (1957). *Deutscher Ausschuss f. Stahlbeton* n° 122, p. 1-8, 14 fig., 1 réf. bibl. — Essais exécutés au Laboratoire d'Essais de l'École Polytechnique de Stuttgart sur des éprouvettes de huit formes différentes. Établissement des éprouvettes. Mode opératoire. Commentaire des résultats. — E. 49146.

CDU 620.17/11 : 693.5.

126-111. Considérations sur la réalisation d'éléments porteurs en béton armé à haute résistance (Synpunkter på tillverkning av högklassiga bärande betongelement). BJUGREN (U.); *Cement-Betong*, Suède (juin 1957), n° 2, p. 68-79, 6 fig. — Recherche des conditions d'emploi des éléments pour lesquels la compression du béton peut atteindre 200 kg/cm², et la traction des aciers 3 000 kg/cm², afin d'éviter

les fissures importantes. Résultats d'essais. — E. 48564.

CDU 539.4 : 624.012.45 : 69.059.2.

127-111. Essais de traction à chaud d'aciers de précontrainte et interprétation d'essais d'incendie sur des éléments de construction en béton armé, précontraints ou non (Warmzerreissversuche mit Spannstählen und Auswertung von Brandversuchen an vorgespannten und nicht vorgespannten Stahlbetonbauteilen). DANNENBERG, DEUTSCHMANN, MELCHIOR; Édité : *Wilhelm Ernst und Sohn*, All. (1957). *Deutscher Ausschuss f. Stahlbeton* n° 122, p. 11-35, 53 fig., 4 réf. bibl. — Essais exécutés au Laboratoire d'Essais des Matériaux de Berlin-Dahlem. Aciers utilisés. Exécution des essais de traction. Résultats. Étude métallographique. Exposé et interprétation des résultats d'essais d'incendie sur des éléments en béton armé ou précontraint. — E. 49146.

CDU 620.17/193 : 693.554 : 693.56/5 : 699.81.

128-111. Contribution à l'étude du problème du pourcentage minimum d'armatures dans les éléments en béton armé (Prispevek k otazce minimalni veztuze zelezobetonovich pruzru). VITEK (B.), HRUBAN (I.); *Zpravy*, Hongrie (1957), n° 7, p. 1-29, 8 fig., 26 réf. bibl. (résumés anglais, russe). — E. 49624.

CDU 624.04 : 693.551.

129-111. Comportement sous des charges de longue durée de poutres en béton faiblement armées (Under-reinforced concrete beams under long-term loads). SAWYER (H. A. jr), STEPHENS (J. E.); *J. A. C. I.*, U. S. A. (juil. 1957), vol. 29, n° 1, p. 21-29, 9 fig. 6 réf. bibl. — Étude de l'influence de l'accroissement de la durée d'application d'une charge sur les déformations et sur la résistance des poutres à faible pourcentage d'armature. — E. 49235.

CDU 624.042/3/4 : 624.072.2 : 693.554.

130-111. Calcul et répartition de l'armature de cisaillement devant résister à l'effort tranchant horizontal (Navrh a rozdeleni smykové vyztuže z vodorovné smykové sily). BARES (R.); *Zpravy*, Hongrie (1957), n° 7, p. 30-61, 18 fig., 7 réf. bibl., (résumés français, russe). — E. 49624.

CDU 624.04 : 693.554.

131-111. Essais de poteaux en béton armé à armatures à section carrée et torsadées, sous charge excentrée (Tests on eccentrically loaded columns with square twisted steel reinforcement). EVANS (R. H.), LAWSON (K. T.); *Struct. Engr.*, G.-B. (sep. 1957), vol. 35, n° 9, p. 340-348, 11 fig., 12 réf. bibl. — E. 49446.

CDU 620.17 : 624.072.3 : 624.012.45.

Deb ni Béton précontraint.

132-111. Perspectives de développement des constructions en béton précontraint avec travées de grande portée aux U. S. A. (Potentialities for long-span prestressed concrete structures in U. S. A.). BILLINGTON (D. P.); *Builder*, G.-B. (6 sep. 1957), n° 5971, p. 418-422, 10 fig., 7 réf. bibl. — Texte d'un exposé présenté à la récente Conférence Internationale sur le béton précontraint. — Étude de travées en béton précontraint de 54,5 m de portée, comparaison avec des fermes métalliques de même portée, étude d'une construction en double encorbellement (hangar d'aviation) réalisée en béton précontraint ou en acier. — E. 49473.

CDU 624.012.46 : 061.3.

133-111. Ouvrages en béton précontraint et en béton armé dans la construction de la brasserie Ansell's (Grande-Bretagne) (Prestressed and reinforced concrete work at Ansell's brewery). FAREBROTHER (J. E. C.); *Struct. Engr.*, G.-B. (sep. 1957), vol. 35, n° 9, p. 329-339, 23 fig. — E. 49446.

CDU 725.4 : 663.4 : 624.012.45/6.

134-111. Les ponts modernes en béton précontraint et en particulier les ponts à armatures groupées (Neuzeitliche Spannbetonbrücken insbesondere mit konzentrierten Spanngliedern). LEONHARDT (F.); *Bauplan.-Bautech.*, All. (juil. 1957), n° 7, p. 308-314, 15 fig. — Description de ponts construits suivant le procédé Baur-Leonhardt. — E. 48618.

CDU 624.27.012.46 : 693.564.

135-111. Le béton partiellement précontraint (Teilweise vorgespannter Beton). ZERNA (W.); *Beton-Stahlbetonbau*, All. (déc. 1956), n° 12, p. 265-267, 4 fig., 3 réf. bibl. — (Traduction d'un art. analysé dans notre DT. 104 de mai 1957, art. n° 177). — E. 49664. — Trad. Serv. Docum. Ponts Chauss. n° 1195, 7 p.

CDU 624.012.46 : 693.564.

136-111. Mesure de l'effort de précontrainte transmis à un bloc d'ancrage, au moyen d'une cellule manométrique creuse (Onderzoek van de voorspankracht bij de verankering met een holle drukdoos). *Commissie Uitvoering Research Ingesteld Betonvereniging (C. U. R.)*, Pays-Bas (avr. 1957), Rap. n° 11, 15 p., 14 fig., (résumés allemand, français, anglais). — Essai d'emploi d'une cellule manométrique creuse pour mesurer à son ancrage la tension d'un câble Freyssinet, la cellule manométrique étant disposée entre le vérin et le cône femelle. — Interprétation des résultats de mesures. — E. 49493.

CDU 693.564.4 : 531.7.

137-111. Recherches sur la répartition tridimensionnelle des contraintes dans les ouvrages d'extrémité d'une poutre de pont roulant en béton précontraint (Three-dimensional investigation of the stresses in the end anchorage blocks of a prestressed concrete gantry beam). CHRISTODOULIDES (S. P.); *Struct. Engr.*, G.-B. (sep. 1957), vol. 35, n° 9, p. 349-356, 15 fig., 11 réf. bibl. — Emploi des procédés photoélastiques et d'extensomètres. — E. 49446.

CDU 624.043 : 624.078.5 : 624.072.2 : 624.012.46.

138-111. Déformation retardée de l'armature dans les constructions en béton précontraint; relaxation des fils dans les constructions mises en prétension (Odkształcenia opóźnione zbrojenia w betonie spreżonym. Relaksacja drutu w strunobetonie). RAJFASZ (S.); *Archiv. Inżyn. Ładowe*, Pol. (1957), vol. 3, n° 1-2, p. 51-113, 39 fig., 23 réf. bibl., (résumés russe et anglais). — E. 49148.

CDU 624.044 : 693.544 : 624.012.46.

139-111. Pourquoi beaucoup de ponts de California sont-ils précontraints? (Why are many California bridges prestressed?). *Engng News-Rec.*, U. S. A. (18 juil. 1957), vol. 159, n° 3, p. 36-38, 40, 43-44, 4 fig. — Les avantages de la précontrainte et l'intérêt porté à ce procédé par l'administration californienne. — E. 48978.

CDU 624.27.012.46 (73).

140-111. Quelques notes sur la construction en béton précontraint (Some notes on construction in prestressed concrete). ANTILL (J. M.); *J. Instn Engrs*, Austral. (avr.-mai 1957), vol. 29, n° 4-5, p. 97-106, 16 fig. — Caractéristiques du béton précontraint et des matériaux qu'il exige. Exposé des contraintes produites par cette technique même. Contraintes admissibles à adopter. Exemples d'utilisations recommandées pour l'Australie. — E. 49204.

CDU 624.012.46 : 624.043 : 691.

Dec CHARPENTE. MENUISERIE
SERRURERIE. STRUCTURES

Dec I Travail des métaux.
Charpente. Soudure. Menuiserie.
Construction mixte.

141-111. Le soudage de l'acier Tor, acier à béton III b (Schweißen von Torsstahl, Betonstahl III b). BREDE (C.); *Beton-Stahlbetonbau*,

All. (août 1957), n° 8, p. 182-187, 12 fig., 13 réf. bibl. — Description des six méthodes éprouvées jusqu'ici. — E. 49229.

CDU 621.791 : 693.554.

142-111. I. Le soudage dans la construction du nouveau pont-route sur la Save à Belgrade. — II. Le soudage dans la construction du nouveau Palais du Parc des Expositions. RADOJKOVIC, DELESQUES; *Ann. I. T. B. T. P.*, Fr. (sep. 1957), n° 117, (Construction métallique : 26), p. 863-884, 39 fig. — I. Le nouveau pont-route sur la Save à Belgrade comporte une poutre continue à âme pleine en caisson à trois travées symétriques de 75, 261 et 75 m de portée; il utilise des dalles orthotropes participant à la résistance, dont tous les joints sont soudés. Seuls sont rivés les poutres principales, leurs joints et leurs attaches de contreventement. Les joints de tôle orthotrope sont soudés sous flux et les nervures longitudinales sur cette dalle le sont par électrode couchée. L'auteur a appliqué les idées de Schnadt sur la résistance de la matière et les moyens de la contrôler; résumé de cette théorie. Exposé des questions relatives au contrôle des soudeurs et des soudures. — II. Le nouveau Palais du Parc des Expositions de Paris est une nef de 68 m de largeur, 144 m de longueur et 26 m de hauteur, supportée sans appuis intermédiaires par neuf portiques divisant la longueur en huit travées de 18 m. La réalisation allie le rivetage et le soudage. Le montage de l'ossature a été réalisé en trois mois. — E. 50189.

CDU 624.27.014.2 : 624.91 : 621.791.

143-111. Utilisation du soudage dans les usines à gaz. GROFFIER (R.); *Soud. Tech. conn.*, Fr. (juil.-août 1957), vol. 11, n° 7-8, p. 205-221, 41 fig. — Étude de diverses applications du soudage, notamment dans la construction des gazomètres de types divers. Intérêt du soudage pour l'exécution rapide des réparations. — Discussion. — E. 49455.

CDU 624.014.25 : 621.6.02 : 624.953.

144-111. L'utilisation combinée d'électrodes basiques et acides dans la technique du soudage (Der kombinierte Einsatz basischer und saurer Elektroden in der Schweistechnik). GERBER (G.); *Mitt. Forschung Konstr. Stahlbau*, Suisse (mai 1957), n° 21, 118 p., nombr. fig., 6 réf. bibl. — Les progrès constants réalisés dans la technique du soudage ont amené à employer dans la soudure à l'arc deux types principaux d'électrodes : l'électrode avec enrobage formant du laitier acide, et l'électrode produisant du laitier basique. La brochure rend compte d'essais effectués pour étudier la compatibilité de ces deux types d'électrodes et leur utilisation combinée pour la confection d'un même cordon de soudure. — E. 49168.

CDU 621.791 : 537.

145-111. Étude du soudage (Design for welding). JEFFERSON (T. B.); *Weld. Engr.*, G.-B. (juin 1957), vol. 42, n° 6 A, p. 7-19, 14 fig. — Choix des électrodes. Étude des chanfreins. Contraintes dans les soudures (Ch. H. JENNINGS). Métal d'apport nécessaire (T. G. HICKS). Symboles employés aux U. S. A. — Prix de revient de la soudure. — E. 48885.

CDU 621.791 : 537.

146-111. L'acier à haute limite élastique en construction soudée. GUÉRIN (J.); *Ann. I. T. B. T. P.*, Fr. (oct. 1957), n° 118, (Construction métallique : 27), p. 933-968, fig. — Des difficultés sont rencontrées dans le soudage de l'acier à haute limite élastique lorsqu'il est fragile et auto-trempeant. À la suite d'un accident, la S. N. C. F. a procédé à des essais de soudabilité sur le métal de base. On examine : 1° l'influence de la composition chimique des aciers; 2° l'influence du mode d'élaboration; 3° l'influence des caractéristiques mécaniques du produit fini; 4° la dureté sous cordon; 5° la notion de carbone équivalent; 6° la fragilité;

7° le contrôle rapide de la soudabilité par essai « Kommerell ». On commente ensuite les conditions thermiques de soudage et on compare le soudage manuel et le soudage automatique sous flux. Le cahier des charges de la S. C. N. F. a fixé d'après ces essais les caractéristiques de l'acier soudable et les prescriptions diverses pour le soudage. — E. 50190.

CDU 621.791 : 691.714 : 539.4.

147-111. L'aluminium et ses alliages dans le bâtiment. — I : Matériaux et caractéristiques des matériaux. II (fin) : Projet, calcul et mise en œuvre (Aluminium-Werkstoffe im Bauwesen. I : Werkstoffe und Werkstoffeigenschaften. II : Entwurf, Berechnung und Verarbeitung). GONER (H.); *Bauplan.-Bautech.*, All. (jan. 1957), n° 1, p. 9-14, 10 fig.; (mai 1957), n° 5, p. 191-198, 15 fig. — Caractéristiques des éléments de construction, assemblages rivés, boulonnés, soudés, collés. Usinage en atelier. — E. 45820, 47649.

CDU 624.014.7 : 691.771 : 624.078.

148-111. Emploi de l'acier dans la construction moderne des bâtiments (Neuzeitlicher Stahlhochbau). KOLLBRUNNER (C. F.); *Mitt. Forschung Konstr. Stahlbau*, Suisse (juin 1957), n° 22, 56 p., 26 fig., 97 réf. bibl. — La brochure reproduit le texte de conférences faites par l'auteur en 1956 et en 1957 à Vienne, Belgrade, Loubiana, Zürich et Rotterdam. — Avantages du matériau acier dans le bâtiment, exemples de l'emploi de l'acier dans la construction d'ateliers et de bâtiments industriels. Description de constructions à ossature dans divers pays. Sécurité contre l'incendie. Problèmes de stabilité des constructions. Relevé chronologique des études publiées par l'auteur sur l'emploi de l'acier dans le bâtiment et sur les problèmes de stabilité. — E. 49169.

CDU 624.014.2 : 721.

149-111. Le montage des travées métalliques de grande longueur (60 à 96 m) (en russe). TZIFRINOVITCH (A.); *Stroit.-Promyshln.*, U. R. S. S. (1957), n° 5, p. 11-16, 7 fig. — E. 48243.

CDU 624.014.2 : 624.07 : 624.078.

Dec lu Construction mixte
acier-béton.

150-111. Expériences et essais de câbles, sur une construction mixte fer-béton précontrainte par câbles extérieurs (viaduc d'accès du pont nord de Dusseldorf) (Erfahrungen und Seilversuche an einer seilunterspannten Verbundkonstruktion — Bauabschnitt Flutbrücke der Nordbrücke in Düsseldorf). BEYER (E.), ERNST (H. J.); *Stahlbau*, All. (juil. 1957), n° 7, p. 177-183, 15 fig., 2 réf. bibl. — E. 48869.

CDU 624.016 : 624.071.2 : 69.001.5.

151-111. Le complexe « acier-béton » appliqué à la construction du gros œuvre des immeubles. DUTHEIL (J.); *Ann. I. T. B. T. P.*, Fr. (sep. 1957), n° 117, (Gros œuvre : 5), p. 829-846, 19 fig. — Le procédé « Acier-Béton » allie la légèreté et la précision de l'ossature en acier à la possibilité d'adaptation du béton armé aux conceptions architecturales. Un mannequin en ossature métallique légère se montant très rapidement comporte des poteaux de faible section qui n'ont à supporter que des poids morts réduits au cours du montage. Sur ces poteaux s'assemblent des éléments transversaux métalliques ou en béton armé préfabriqués avec éléments métalliques incorporés laissant apparaître les organes d'assemblage classiques par soudage ou rivetage. Après assemblage les poteaux et organes de liaison sont enrobés de béton. Le procédé évolue vers la préfabrication lourde et permet de substantielles économies de main-d'œuvre. Des réalisations importantes de groupe d'immeubles ont été faites à Dijon, Metz, Alger et Chelles. — E. 50189.

CDU 624.016/14/12.4 : 693.9.

Def PRÉFABRICATION

152-111. Quelques effets de la préfabrication sur la construction d'après-guerre (Some effects of prefabrication on post war building). SAUNDERS (C. E.); *Struct. Engr.*, G.-B. (août 1957), vol. 35, n° 8, p. 277-296, 29 fig., 13 réf. bibl. — Étude de l'évolution de la préfabrication dans le bâtiment depuis la fin de la guerre et de ses effets les plus importants sur la construction et l'architecture. — E. 49009.

CDU 69.002. 2 : 721.

153-111. Assemblage de pièces en béton armé en construction préfabriquée (Verbindung von Stahlbetonfertigteilen im Montagebau). LEWICKI (E.); *Zement-Beton*, Autr. (juin 1957), n° 9, p. 7-14, 22 fig., 10 réf. bibl. — Conditions auxquelles doivent répondre les assemblages. Exemples de réalisations. — E. 49005.

CDU 624.078 : 624.012.3/45.

154-111. Éléments préfabriqués de grandes dimensions en béton employés dans la construction de logements au Danemark (Grossformatige vorgefertigte Bauelemente im dänischen Wohnungsbau). CARLSEN (P.); *Bauwirtschaft*, All. (17 août 1957), n° 33, p. 970-977, 31 fig., 2 réf. bibl. — E. 49230.

CDU 691.328 : 69.022.1.

155-111. L'usine en béton de la Pressed Steel Co Ltd., à Stratton St. Margaret (G.-B.) (Factory in concrete for the Pressed Steel Co Ltd., Stratton St. Margaret). NEW (D. H.), SANDERS (R.); *Struct. Engr.*, G.-B. (août 1957), vol. 35, n° 8, p. 312-316. — Discussion de l'article analysé dans notre DT. 106 de juil.-août 1957, art. 107. — E. 49009.

CDU 725.4 : 624.012.3/45.

156-111. Série d'articles sur l'industrie du béton manufacturé. — *Betonst. Ztg.*, All. (avr. 1957), n° 4, p. 219-247, nombr. fig. (résumés anglais, français). Usine pour la confection d'agglomérés de béton avec installation d'étuve (Présentation d'un schéma d'usine, importance de la mécanisation). — Machines utilisées pour la fabrication des agglomérés de béton. — Machines étrangères pour la fabrication des tuyaux. — Chariots à main et à moteur pour le transport du béton. — Véhicules automobiles pour l'industrie du béton manufacturé. — E. 47412.

CDU 666.9 : 691.327.

Dic CLIMATISATION

157-111. Comportement thermique des murs à double paroi. III. (fin). Température à la surface des murs (Thermal performance of frame walls. III. Wall surface temperature). HANDEGORD (G. O.); *Heat. Pip. Air condition.*, U. S. A. (juin 1957), vol. 29, n° 6, p. 145-152, 7 fig., 6 réf. bibl. — Étude des différents modes de répartition des températures sur les surfaces horizontales situées derrière les façades, dus à la présence des montants de façade et au montage de l'isolant. — Relations entre la température à la surface du mur et la transmission de la chaleur à travers ce mur à double paroi. — Influence de la position de l'isolant. — E. 48353.

CDU 536.2/5 : 69.022.322.

158-111. Essais comparatifs des procédés de contrôle physiologiques et physiques de la conduction dans les planchers. I. II. (fin). (Vergleichsmessungen zwischen physiologischem und physikalischem Prüfverfahren der Wärmeableitung von Fussböden). CAMMERER (J. S.), SCHULE (W.); *Gesundheitsingenieur*, All. (31 août 1957), nos 15-16, p. 251-252, 6 fig., 2 réf. bibl.; (10 sep. 1957), nos 17-18, p. 266-270, 10 fig. — E. 49528, 49586.

CDU 536.6/2 : 69.025.

159-111. Étude des risques de condensation sur murs de logements habités et sur murs expérimentaux. CROISSET (M.); *Ann. I. T. B. T. P.*, Fr. (nov. 1957), n° 119, (Gros œuvre de 6), p. 1269-1300, fig. — Après un rappel de la

théorie physique de la condensation superficielle, on donne des exemples d'évaluation des risques de condensation à partir d'enregistrement d'humidité et de température d'ambiances effectués dans des logements les plus divers de la région parisienne. Le défaut de chauffage de certaines pièces y provoque la condensation de la vapeur d'eau provenant des cuisines. Des essais semi-naturels en œuvre de longue durée ont été en outre effectués sur des parois en maçonnerie légère d'agglomérés, de briques creuses et de béton cellulaire. On a mis en outre en évidence le rôle des enduits intérieurs en plâtre susceptibles d'absorber sans dommage une partie des condensations superficielles. Un deuxième cycle d'essais est prévu, qui porte sur les ponts thermiques et les enduits intérieurs absorbants. — E. 50191.

CDU 697.93 : 69.022 : 699.82.

160-111. La régulation automatique. II. (fin). Quelques remarques d'introduction à propos de la régulation automatique en chauffage. BOSQUET (F.); *Chaud-Froid*, Fr. (jan. 1957), n° 121, p. 19, 21, 23, 25, 2 fig. — (I: paru dans notre DT. 105 de juin 1957, art. 127.) — E. 45838.

CDU 697.347.

161-111. Notions fondamentales sur le réglage automatique des installations de conditionnement de l'air (Grundsätzliches über automatische Regelung bei Klimaanlageanlagen). MACA (F.); *Gesundheitsingenieur*, All. (31 août 1957), nos 15-16, p. 244-250, 10 fig., 3 réf. bibl. — E. 49528.

CDU 697.87 : 697.9.

162-111. Calcul des installations de chauffage d'étage à eau chaude (Zur Dimensionierung der Stockwerksheizung). MACSKASY (A.); *Gesundheitsingenieur*, All. (10 sep. 1957), nos 17-18, p. 261-265, 8 fig. — E. 49586.

CDU 697.13/14 : 697.43 : 721.05.

163-111. Calcul des besoins de chaleur d'un appareil pour la fusion de la neige (Calculating the heat requirements of a snow melting system). CHAPMAN (W. P.); *Air condition. Heat. Ventil.*, U. S. A. (août 1957), vol. 54, n° 8, p. 81-96, 8 fig. — La chaleur nécessaire dépend de la vitesse du vent, de la température de l'air, de l'importance des chutes de neige et de l'humidité relative. Étude des conditions existant dans les différentes régions des États-Unis, données permettant la détermination des caractéristiques des appareillages pour la fusion de la neige. — E. 49207.

CDU 536 : 621.4 : 625.76 : 551.58.

Dic I Chauffage.

164-111. Le chauffage des habitations urbaines. CADIERGUES (R.); *Tech. Archit.*, Fr. (mai 1957), n° 2, p. 79-81. — Les systèmes de production de chaleur. Les systèmes de transport de chaleur. Influence des systèmes d'émission de chaleur. Perspectives d'avenir. — E. 48575.

CDU 697.1 : 728 : 711.4.

165-111. Radiateurs, convecteurs, plinthes, panneaux. I : Les radiateurs. BURNAY (G.), CADIERGUES (R.); *Tirel (J.)*; *Industr. thermiques*, Fr. (fév. 1957), n° 2, 142 p., nombr. fig. — Numéro consacré aux radiateurs belges et français. — Notes sur les données expérimentales, terminologie et classification des radiateurs. Caractéristiques des radiateurs belges et français. — E. 46699.

CDU 697.35 (03) (44) (493).

166-111. Éléments de construction préfabriqués pour chauffage par rayonnement (Fertigbauteile bei der Strahlplattenheizung). ANDORFER (H.); *Gesundheitsingenieur*, All. (10 juil. 1957), nos 13-14, p. 194-199, 9 fig., 3 réf. bibl. — E. 48810.

CDU 697.353 : 69.002.

167-111. Problèmes relatifs à l'installation et à l'utilisation du chauffage central au mazout (Problemer vedrørende installation og drift af oliefyringsanlæg). JORGENSEN (O. J.), OLSEN

(F.); *Stat. Byggeforskninsinst.*, Danm. (juil. 1957), Rap. NR 19, (15 Byggetekniske Samtale), 42 p., 19 fig. — Aspects techniques et économiques : caractéristiques des différentes sortes de mazout, conception des réchauffeurs et de la chaudière, rapports entre la surface radiante et la surface de convection. Prix de revient, comparaison entre le prix de revient du chauffage au mazout et du chauffage au charbon. — E. 49541.

CDU 697.32 : 662.75.

Dic m Réfrigération.

168-111. Rafraîchissement de l'air des serres en été (Summer cooling for greenhouses). ASH (R. S.); *Air condition. Heat. Ventil.*, U. S. A. (août 1957), vol. 54, n° 8, p. 65-69, 5 fig. — Problèmes posés par la chaleur excessive dans les serres pendant les mois d'été, insuffisance de la ventilation naturelle, étude de divers systèmes permettant le rafraîchissement de l'air. — E. 49207.

CDU 697.97 : 635.9 : 551.5.

Dic n Ventilation. Conditionnement. Traitement de la matière.

169-111. Conditionnement de l'air, technique d'avenir. I. II. III. HOUDAYER (Ch.); *Isolation-Réventil.*, Fr. (fév. mars 1957), n° 7, p. 46-47; (avr.-mai 1957), n° 8, p. 41-44, 4 fig., (juin-juil. 1957), n° 9, p. 33-36, 11 fig. — Série d'articles faisant le point de cette technique — Définition. Fonction type du conditionnement d'air. — E. 47590, 48603, 49582.

CDU 697.9.

170-111. Commande des systèmes de ventilation dans les grands bâtiments (Control of fan systems in large buildings). HAINES (J. E.); *Air condition. Heat. Ventil.*, U. S. A. (sep. 1957), vol. 54, n° 9, p. 76-90, 36 fig. — E. 49678.

CDU 627.87/92 : 721.011.27.

171-111. Mesure des infiltrations d'air dans deux maisons d'habitation. I. Technique et mesure des infiltrations. II. Comparaison de différentes variables affectant les infiltrations (Measurement of infiltration in two residences. I. Technique and measured infiltration. II. Comparison of variables affecting infiltration). BAHNFLETH (D. R.); MOSELEY (T. D.), HARRIS (W. S.); *Heat. Pip. Air condition.*, U. S. A. (juin 1957), vol. 29, n° 6, p. 165-171, 13 fig., 6 réf. bibl.; (juil. 1957), n° 7, p. 159-165, 11 fig. — Les taux d'infiltration ont été mesurés par l'emploi du procédé des gaz traceurs (hélium). — Influence de la direction et de la vitesse du vent et de la différence des températures extérieure et intérieure. — E. 48353, 48886.

CDU 697.95 : 728.3 : 533.6.

172-111. Pertes de pression et caractéristiques de l'écoulement de l'air dans les registres à volets multiples (Pressure losses and flow characteristics of multiple-leaf dampers). BROWN (E. J.), FELLOWS (J. R.); *Heat. Pip. Air condition.*, U. S. A. (août 1957), vol. 29, n° 8, p. 119-125, 13 fig. — On a utilisé sur une grande échelle les registres à volets multiples pour contrôler l'écoulement de l'air dans les conduits de chauffage, de ventilation et de conditionnement de l'air. — Étude de la perte de pression due aux registres de ce type. — E. 49350.

CDU 697.87 : 532.5.

173-111. Distribution de l'air conditionné dans une pièce pour la climatisation en toute saison. II. (Distribution of air within a room for year-round air conditioning). STRAUB (H. E.), MING CHEN (M.); *Univ. Ill. Bull.*, U. S. A. (mars 1957), vol. 54, n° 55, (*Univ. Ill. Engng Exper. Stn Bull.* n° 442), 44 p., 32 fig., 6 réf. bibl. (I: analysée dans notre DT. 105 de juin 1957,

art. n° 131). — Étude faite au Laboratoire de l'Université d'Illinois en collaboration avec l'Association Gazière Américaine. — Recherche des types et emplacements optima d'orifices de plancher, de plafond et de cloisons, de façon à obtenir une distribution satisfaisante de l'air destiné au chauffage ou au rafraîchissement d'un local d'habitation. — E. 49247.

CDU 697.92/5 : 533.6.

Did ÉCLAIRAGE

174-111. L'implantation relative des bâtiments. MAGNAN (R.). *Cah. Secrét. État Reconstr. Logement*, Fr. (avr.-mai-juin 1957), n° 2, 16 p., 13 fig. — Implantation et ensoleillement. Prospect et ensoleillement. — E. 49488.

CDU 628.92 : 721.011.22.

175-111. Contribution à l'étude de l'ensoleillement d'un ensemble de bâtiments. BOSANO (E.). *Cah. Secrét. État Reconstr. Logement*, Fr. (avr.-mai-juin 1957), n° 2, 48 p., nombr. fig. — E. 49488.

CDU 628.92 : 711.644 : 535.

Dif PROTECTION CONTRE LES DÉSORDRES ET ACCIDENTS

Dif j Acoustique. Vibrations. Protection contre les bruits et les vibrations.

176-111. Isolation phonique des parois de verre. PILON (J.-M.). *Rev. tech. Bâtiment*, Fr. (juil.-août 1957), n° 43, p. 9-12, 10 fig. — E. 49132.

CDU 699.84 : 69.022.56 : 691.6.

Dif n PROTECTION CONTRE LES DÉSORDRES DUS A L'HOMME

Dif nu Radioactivité.

177-111. Protection contre le rayonnement des réacteurs (Reaktor-Strahlungsschutz). JAEGER (T.). *Bauplan.—Bautech.*, All. (juil. 1957), n° 7, p. 321-326, 10 fig., 20 réf. bibl. — Nature du rayonnement et moyens de protection : béton spécial et ouvrages de protection. — E. 48618.

CDU 699.88 : 539.1 : 666.972.5.

Dig STOCKAGE ET CIRCULATION DES FLUIDES

Dig 1 CANALISATIONS

178-111. Emploi de matériaux nouveaux dans la réalisation des canalisations (Neue Werkstoffe im Rohrleitungsbau). CARRIERE (J. E.). *Prüfungsinst. Wasserleitungsartikel A. G.*

— *KIWA*, All. (1956), Mitteil. n° 17, 42 p. — (Exposé pour la section « Hydraulique » présenté le 23 février 1956 à Ratisbonne devant le « Verein von Gas- und Wasserfachmännern » et le « Verband der Deutschen Gas- und Wasserwerke » sur le thème : Nouvelles méthodes dans la construction et l'exploitation des canalisations). Importance de l'agressivité du sol, causes de la corrosion, méthodes modernes d'étude des sols, comportement des tuyaux en fonte, en acier, en amiant-ciment, en béton, en cuivre, en matières plastiques. Discussion. — E. 49508.

CDU 621.643.2 : 691 : 620.19.

179-111. Canalisation de vapeur à haute pression sous les rues de New York (High-pressure steam main under New York city streets). FISHER (J. C.). *J. Pip. Div.*, U. S. A. (juin 1957), vol. 83, n° PL2 : *Proc. A. S. C. E.*, pap. 1279, 21 p., 10 fig. — Conception et construction d'une canalisation de distribution de vapeur de 610 mm de diamètre, fonctionnant à une pression de 29 kg/cm². Problèmes rencontrés et solutions adoptées. — E. 48542.

CDU 621.643.2 : 621.1 : 624.134.

180-111. Régulation de l'écoulement au moyen de vannes (Control of flow by gates and valves). MORGAN (H. D.). *Proc. Instn civ. Engrs.* G.-B. (juil. 1957), vol. 7, p. 537-574, 34 fig., 17 réf. bibl. — Description des divers éléments d'une vanne; caractéristiques des différents types de vannes et de leur fonctionnement. — Discussion. — E. 48779.

CDU 621.646.2 : 626.01.

181-111. Pose en sept jours d'un collecteur d'une longueur de 9 km se déversant dans l'Océan Pacifique (Pacific Ocean outfall pulled 7 mi in only 7 days). *Constr.-Methods*, U. S. A. (août 1957), vol. 39, n° 8, p. 140-141, 143-144, 148-150, 154-155, 157-158, 163-164, 167, 170, 29 fig. — Description des opérations de pose de ce collecteur au large de Los Angeles. — E. 49370.

CDU 628.39/24.

182-111. Conduites forcées multi-couches et dérivations à haute pression (Multilayer penstocks and high pressure wyes). SCHMITZ (E.). *J. Pow. Div.*, U. S. A. (août 1957), vol. 83, n° P04 : *Proc. A. S. C. E.*, pap. 1344, 33 p., 22 fig. — Description des conduites forcées constituées par plusieurs couches de métal; mode d'exécution des soudures sur le chantier. Avantages. Caractéristiques de construction de différents types de dérivation. — E. 49506.

CDU 628.14 : 621.311 : 624.014.25.

183-111. Quelques problèmes posés à un constructeur de conduites forcées (Some problems of a penstock builder). PIROK (J. N.). *J. Pow. Div.*, U. S. A. (juin 1957), vol. 83, n° P03 : *Proc. A. S. C. E.*, pap. 1284, 23 p., 19 fig. — Exemples de problèmes rencontrés à toutes les phases de l'étude et de la construction. Solutions proposées. — Conception et construction des conduites forcées (Penstock design and construction). LATHAM (G. R.); pap. 1285, 23 p., 17 fig. — Exemples de réalisations. — E. 48541.

CDU 628.14 : 621.311.

Dig m RÉSERVOIRS. SILOS

184-111. Le gazomètre sphérique soudé et son montage (Der geschweisste Kugelbehälter zur Speicherung von Gas- und seine Montage). STEINHOFFER; *Z. Oesterr. Ingr. Architekten-Ver.*, Autr. (3 sep. 1957), nos 17-18, p. 214-218, 4 fig. — Étude d'un gazomètre sphérique construit à Cologne; diamètre 33,5 m. — Description des opérations de soudage. — E. 49487.

CDU 624.953 : 621.6.02 624.014.25.

Do ENTREPRISES. ORGANISATION. INDUSTRIALISATION. ÉTUDES. DOCUMENTATION. MAIN-D'ŒUVRE

185-111. Recherche de nouvelles solutions pour le problème du logement (Z badan nad nowymi rozwiązaniemami w budownictwie mieszkaniowym). *Prace Inst. Budown. Mieszkaniowego*, Pol. (1957), vol. 6, n° 17, 77 p., nombr. fig., réf. bibl. (résumés français, anglais). — Brochure comprenant des études sur les problèmes suivants : économies de bois dans la confection des coffrages, traitement du laitier de haut-fourneau de Czechowice dans une broyeuse rotative, résistance des planchers et des poteaux, essais de résistance de panneaux muraux en béton au gaz, caractéristiques des ossatures en béton armé des bâtiments industriels, propriétés thermiques et hygrométriques des murs extérieurs réalisés avec divers matériaux de construction, productivité des chantiers. — E. 49258.

CDU 69.002 : 693.5 : 691.

Dod MATÉRIEL ET OUTILLAGE

186-111. Manuel de l'air comprimé. Edit. : *Eyrolles*, Fr. (1957), 1 vol., 470 p., 333 fig. — Voir analyse détaillée B. 2282 au chapitre II « Bibliographie ». — E. 49662.

CDU 621.51 (03).

187-111. Formulaire de la manutention mécanique continue. Editions : « *Manutention mécanique et automation* », Fr. (août 1957), 125 p., nombr. fig. — Avantages de la manutention mécanique, économie de main-d'œuvre procurée par les appareils de manutention. — Densité des matières en vrac rencontrées en manutention, engins conseillés pour la manutention de marchandises en poudre ou en sacs. — Vidange des trémies de stockage, calcul des silos et trémies, pente naturelle du talus d'éboulement, angles de montée, angle de chute sur goulottes. — Etude des différents types de transporteurs et élévateurs. — E. 49612.

CDU 658.29 : 621.8 (02).

F. — LES OUVRAGES

Fab ÉCHAFAUDAGES. ÉTAIEMENTS. BOISAGES CUVELAGES. CINTRES

188-111. Eléments de construction en matières plastiques (Bauelemente aus Kunststoffen). BRANDENBERGER (E.). *Schweiz. Bauztg.* Suisse (10 août 1957), n° 32, p. 501-505, 15 fig. — Propriétés spéciales des matières plastiques, qui en commandent les modes d'utilisation dans le bâtiment. — E. 49140.

CDU 69.02 : 691.175.

189-111. Emploi d'anneaux de très grand diamètre pour le cuvelage d'une grande fosse (Record size rings brace huge pit). *Constr.*

Methods, U. S. A. (août 1957), vol. 39, n° 8, p. 115-117, 121, 5 fig. — Description et pose d'anneaux en acier de 33,5 m de diamètre utilisés pour cuveler une fosse de décantation de 38,7 m de profondeur de la nouvelle installation de traitement des eaux usées à Pittsburgh. — E. 49370.

CDU 628.11/29 : 624.953 : 624.014.2.

Fac ÉLÉMENTS PORTEURS

Fac j Ossatures. Piliers. Colonnes.

190-111. **Projet et exécution des sous-sols du Centre de Documentation de la Recherche Scientifique.** BRICE (L. P.); *Ann. I. T. B. T. P.*, Fr. (sep. 1957), n° 117, (Béton précontraint à 25), p. 811-828, 24 fig. — Le C. N. R. S. a choisi pour le regroupement de ses services et laboratoires un terrain contigu à celui qu'il occupe déjà quai Anatole France en bordure de la Seine. L'immeuble comporte deux sous-sols de 1 800 m² destinés à la documentation, un rez-de-chaussée pour une salle de conférences et des laboratoires et trois étages de bureaux et salles de lecteurs. Le béton précontraint a été adopté pour la construction et celle-ci a dû être ancrée dans le sol, pour résister aux sous-pressions éventuelles pouvant atteindre 8 m d'eau en cas de crue du fleuve. Le radier est constitué par une seule dalle de béton précontraint qui repose sur des puits de fondations descendus jusqu'au calcaire grossier où une grande partie d'entre eux sont ancrés au moyen de câbles précontraints. Le radier est armé de câbles de précontrainte dans deux directions perpendiculaires. L'exécution a comporté une reprise préalable des murs mitoyens en sous œuvre, puis le fonçage de puits Benoto à tubage en éléments soudés enfoncés à la machine loupoyeuse et un forage dans le calcaire en fond de puits pour scellement des câbles de précontrainte. — E. 50189.

CDU 727.4 : 624.012.46 : 624.153 : 691.88.

191-111. **Nouveau procédé pour l'aménagement des supports pour conduites enterrées ou disposés à l'air libre** (Ein neues Verfahren zur Auflagerung eingeerdeter oder frei verlegter Rohrleitungen). RUCK (R.); *Wasserwirtschaft*, All. (sep. 1957), n° 12, p. 313-319, 13 fig., 8 réf. bibl. — Nécessité de prévoir des supports dans le cas de charges élevées; intérêt d'employer à cet effet des poutres continues en béton armé. Mouvements des conduites enterrées sous l'action de la température et des contraintes qui en résultent. Interposition de tapis en béton asphaltique. — E. 49536.

CDU 624.078.5 : 621.643.2 : 624.15.

192-111. **Le cinéma « Le Richelieu », à Paris.** BOUCHET (A.); *Tech. Trav.*, Fr. (sep.-oct. 1957), n° 9-10, p. 275-284, 13 fig. — Construction enchaînée dans un immeuble existant, et réalisée entièrement en béton armé, à l'exception de la toiture qui est constituée par une charpente métallique reposant sur les poteaux en béton armé de l'ossature. — La salle peut contenir quinze cents spectateurs. — E. 49947.

CDU 725. 823.4 : 624.012.45 : 69.059.3.

193-111. **Supports métalliques remplis de béton.** BOUÉ (P.); *Acier*, Fr. (sep. 1957), n° 9, p. 351-356, 10 fig. 6 réf. bibl. — Principes du calcul des supports métalliques avec noyau de béton et éventuellement avec enrobement de béton, calcul des tubes remplis de béton. Description et résultats des essais au feu de tubes bétonnés, conclusions en ce qui concerne l'emploi de ces éléments dans le bâtiment. — E. 49516.

CDU 624.072.3 : 624.016 : 699.81.

194-111. **La tour de télévision de Stuttgart.** VEGA ROCHE (L.); *Bâtir*, Fr. (juil. 1957), n° 69, p. 10-15, 10 fig. — Description de la tour constituée d'un fût conique en béton de 161 m de hauteur, dont le diamètre varie entre 11 m à la base et 5 au sommet. — Réalisation de l'ouvrage. — Équipement de la tour. — E. 49440.

CDU 624.97 : 725.94 : 624.012.4.45.

195-111. **Le Centre Falkoner, (en construction sur la place de la mairie à Frederiksberg, Copenhague). Problèmes statiques et problèmes de construction dans le cas d'immeubles élevés** (Falkonercentret. Statiske og konstruktive problemer med særligt henblik på højhuset). LUNDGREN (A.), NIELSEN (C.); *Ingeniøren*, Danm.

(15 juil. 1957), n° 21, p. 540-545, 8 fig. — Étude de l'ossature de cet immeuble de seize étages, en béton armé, avec emploi de poutres en béton précontraint aux étages supérieurs. Contreventement. Éléments de façade en béton. — E. 48805.

CDU 721.011.27 : 624.012.45/6 : 69.022.325.

196-111. **Phénomènes dus à la chaleur et à l'humidité dans des murs réalisés en éléments préfabriqués de béton** (Zjawiska cieplno-wilgotnościowe w przegrodach z elementow prefabrykowanych). ZENCZYKOWSKI (W.); GRZYBOWSKI (T.), STARCZEWSKI (J.); *Archiv. Inzyn. Ladowej*, Pol. (1957), vol. 3, n° 1-2, p. 3-49, 45 fig., 6 réf. bibl. (résumés russe et anglais). — Présentation d'observations faites au cours de l'hiver 1956 dans des bâtiments neufs construits au moyen de béton au gaz. — E. 49148.

CDU 697.93 : 69.022.1 : 624.012.3 : 666.973.6.

Fac ji Ossatures et murs porteurs.

197-111. **La construction à ossature légère** (Der Leichtskelettbau). BRUCKMAYER (F.); *Ziegelindustrie*, All. (2 août 1957), n° 16, p. 530-543, 27 fig., 7 réf. bibl. — Principes du mode de construction à ossature légère et murs porteurs en briques. Détails du projet. Bases du calcul. Résistance aux secousses sismiques. Protection thermique et acoustique, aspect économique. Exemples de réalisation. — E. 49231.

CDU 624.012.2 : 693.8/9 : 699.8.

Fac l Poutres. Dalles. Planchers.

Auvents. Portiques. Cadres.

198-111. **Essais de construction de tabliers légers soudés** (Versuche mit geschweißten Leichtfahrbahnkonstruktionen). SZÉCHY (K.); *Bautechnik*, All. (août 1957), n° 8, p. 303-308, 14 fig. — Essai de cinq dispositions en vue de l'allégement du tablier d'un pont de 928 m de long et 27,5 m de large, sur le Danube à Budapest. Description des dispositions. Exécution des essais. Résultats. — E. 49223.

CDU 624.21.025 : 624.014.25 : 69.001.5.

Fac m Toitures. Voûtes. Dômes.

Coupoles. Arcs. Escaliers. Voiles.

199-111. **Un toit en voile mince en bois** (A timber shell-roof). *Engineering*, G.-B. (26 juil. 1957), vol. 184, n° 4768, p. 121, 1 fig. — Brève description d'un toit en bois reposant sur quatre poteaux et couvrant une surface de 956 m² environ. — E. 49008.

CDU 69.024.4 : 694.

200-111. **Couverture en coupole renversée** (Cubierta en boveda invertida). *Inform. Constr. (Inst. tec. Constr. Cemento)* Esp. (juin-juil. 1957), n° 92, p. 839.10/1-839.10/8, 17 fig. — Description d'un stade couvert construit à Montevideo. Couverture sans supports intermédiaires comportant deux anneaux circulaires coaxiaux entre lesquels sont montés 256 câbles radiaux servant de support aux éléments préfabriqués de béton armé, et formant une coupole renversée de 94 m de diamètre. — E. 49092.

CDU 624.91 : 624.074.7 : 624.071.2 : 691.328.

201-111. **Un toit suspendu à nervures en béton précontraint** (Ein Hängedach mit vorgespannten Betonrippen). KOZNIETZKI (K.); *Beton-Stahlbetonbau*, All. (août 1957), n° 8, p. 173-176, 12 fig. — Description de la couverture d'une salle de spectacle elliptique de 45,25 × 37,25 m. — Étude du mode de construction. — E. 49229.

CDU 624.91 : 624.072/8 : 693.56.

202-111. **Formes de pente isolantes pour toitures-terrasses.** — *Carrières du Centre (Compagnie des Sablières de la Seine)*, 2, quai Henri-IV, Paris, Fr., 8 p., — Caractéristiques

des formes de pente, composition du béton à adopter, mise en œuvre, séchage du béton, chape en mortier ordinaire. Aperçu sur les incidents parfois constatés : causes, précautions à prendre, remèdes. — E. 49322.

CDU 69.025.331.5 : 69.024.3.

203-111. **Directives pour l'établissement du projet, le calcul et l'exécution de voiles cylindriques en béton armé** (Richtlijnen voor het ontwerpen berekenen en uitvoeren van cilindrische schaaldaken van gewapend beton). *Commissie Uitvoering Research Instgesteld Betonvereniging (C. U. R.)* Pays-Bas (déc. 1956), Rap. n° 12, 24 p., 5 fig., 9 réf. bibl. (résumés allemand, français, anglais). — Petite brochure contenant les directives indispensables pour la réalisation des couvertures en voile mince des types les plus habituels. — Indications pour le dimensionnement. — Appréciation des méthodes de calcul les plus connues, étude de quelques problèmes méritant de retenir l'attention lors de l'exécution du travail. — E. 49494.

CDU 624.074.4/7 : 624.012.45.

Fec BATIMENTS CULTURELS. SPORTS

204-111. **Constructions scolaires. II. Technique et Supérieur.** — *Archit. fr.*, Fr. (août 1957) n° 179-180, 114 p., nombr. fig. — Numéro consacré aux constructions scolaires de l'enseignement technique et de l'enseignement supérieur : Centre National d'Enseignement Technique à Cachan, Centre d'Instruction électrique du Montois, Centre d'apprentissage féminin à Beaune, Centre d'apprentissage de garçons de Pézenas, Centre d'apprentissage de St-Maur, école d'apprentissage d'Egletons, centres d'apprentissage de Montrouge, Thiers, Reims, Loos-lez-Lille, Centre universitaire de Dijon, Centre de recherches sur les macromolécules à Strasbourg, nouvelle cité universitaire de Caen, sanatorium de Neufmoutiers, Maison de l'Allemagne à la Cité Universitaire, Institut d'odonto-stomatologie à Bordeaux, résidence universitaire Jean Zay à Antony. — Description de constructions scolaires du premier et du second degré dans divers territoires de l'Union française et en France. — E. 49438.

CDU 727.3/4.

205-111. **La construction de l'Institut de Rationalisation de l'École Technique supérieure d'Aix-la-Chapelle** (Der Bau des Rationalisierungsinstituts an der Technischen Hochschule Aachen). STEINBACH (R.), KOHL (H.), KRAMER (G.); *Bauwelt*, All. (2 sep. 1957), n° 35, p. 886-901, 38 fig. — Caractéristiques du projet adopté à la suite d'un concours; description de ce bâtiment à ossature en béton armé; éléments de façade constitués de panneaux préfabriqués en béton. — E. 49396.

CDU 727.3/5 : 693.95 : 69.022.325 : 624.012.3.

Fed TRAVAUX MILITAIRES. TRAVAUX D'UTILITÉ PUBLIQUE. ALIMENTATION EN EAU. HYGIÈNE PUBLIQUE. GÉNIE RURAL. EAUX SOUTERRAINES

Fed la Alimentation en eau. Réservoirs d'eau. Eaux souterraines.

206-111. **Le captage des couches aquifères. Puits horizontaux ou puits verticaux?** (La captación de capas acuíferas pozos horizontal o pozos verticales?). ZAPATA TEJEDOR (F.); *Rev. Obras publ.*, Esp. (juil. 1957), n° 2907, p. 362-369, 5 fig. — Avantages et inconvénients des

puits verticaux ou hori·ontaux. Étude théorique des puits. Critère pour le choix de l'un ou l'autre type. — E. 49067. CDU 628.11.

207-111. La pollution de l'estuaire du Tage (Poluicao do estuario do Tejo). DA COSTA (P. D.); *Tecnica*, Portug. (juil. 1957), n° 274, p. 617-637, 7 fig. 3 fig. h.-t. — Étude très détaillée sur la pollution de l'estuaire du Tage, notamment par les égouts de la ville de Lisbonne (850 000 habitants). Solutions proposées. — E. 49378. CDU 627.7 : 628.39 : 627.16.

208-111. La construction d'un réservoir souterrain d'eau potable de 25 000 m³ à Rotterdam (De bouw van een reinwaterkelder van 25 000 m³ inhoud te Rotterdam). AARNOUDSE (J.); *Cement-Beton*, Pays-Bas (août 1957), nos 7-8, p. 301-308, 22 fig., (résumés anglais, français, allemand). — Description du réservoir rectangulaire en béton de 60 × 70 × 6,75 m, reposant sur six cents pieux. Etudes préliminaires. Construction. Observations faites. — E. 49408. CDU 629.13 : 624.134 : 624.012.45 : 624.154

209-111. Calcul du débit d'eau nécessaire pour les besoins d'un immeuble. (en russe). *Annuaire Inst. Gen. civ.*, Bulg. (1956), vol. 7, n° 2, p. 119-138, 10 fig., 5 réf. bibl. — E. 47742. CDU 628.1 : 696.11 : 532.5.

Fed m Hygiène publique. Evacuation des eaux.

210-111. Assainissement de l'agglomération parisienne. KOCH (P.); *Ann. I. T. B. T. P.*, Fr. (sep. 1957), n° 117, (Questions générales : 34), p. 885-932, 87 fig. — L'auteur, après un rapide exposé sur les origines du tout-à-l'égout parisien, dégage les grandes lignes du programme général d'assainissement de l'agglomération parisienne. Après quelques indications sur les procédés de construction des ouvrages déjà réalisés, il donne certaines précisions sur les procédés de traitement des eaux usées mis en œuvre dans le cadre du programme. Il évoque finalement les prévisions relatives à sa poursuite, en dégageant la portée des résultats escomptés. — E. 50189. CDU 628.2 : 711.4.

211-111. Type synthétique d'orage pour l'étude des égouts (Synthetic storm pattern for drainage design). KEIFER (C. J.), HSIEN CHU (H.); *J. Hydraul. Div.*, U. S. A. (août 1957), vol. 83, n° HY4 : *Proc. A. S. C. E.*, pap. 1332, 25 p., 17 fig., 4 réf. bibl. — Etude faite par le Service des égouts de Chicago. Relation entre les précipitations pluviales et le ruissellement. Détermination d'un « orage type » pour le calcul des égouts. — E. 49504. CDU 628.22 : 551.5.

212-111. Les lits bactériens traitent avec succès les déchets de laiterie (Trickling filters successfully treat milk wastes). MORGAN (P. E.), BAUMANN (E. R.); *J. Sanit. Engng Div.*, U. S. A. (août 1957), vol. 83, n° SA4 : *Proc. A. S. C. E.*, pap. 1336, 35 p., 19 fig., 3 réf. bibl. — E. 49503. CDU 628.54 : 637.

213-111. Déversement direct des effluents d'égouts dans la nappe souterraine (Direct recharge of ground water with sewage effluents). KRONE (R. B.); MCGAHEY (P. H.), GOTAAS (H. B.); *J. Sanit. Engng Div.*, U. S. A. (août 1957), vol. 83, n° SA4 : *Proc. A. S. C. E.*, pap. 1335, 25 p., 14 fig., 9 réf. bibl. — Étude de trois années sur les possibilités techniques et hygiéniques de cette opération. — Observations des pressions et du déplacement de la pollution au cours des injections. — Conclusions. — E. 49503. CDU 628.39 : 624.131.6.

Feg BATIMENTS EN GÉNÉRAL

Feg 1 Bâtiments de plus de 10 étages.

214-111. Le bâtiment de l'« Inland Steel Co. », à Chicago. ODENHAUSEN (H.); *Acier*, Fr. (sep. 1957), n° 9, p. 362-364, 5 fig. — Bâtiment entièrement métallique de dix-neuf étages, reposant sur 450 pieux métalliques. — E. 49516. CDU 721.011.27 : 624.014.2.

Fib OUVRAGES INDUSTRIELS ET COMMERCIAUX, DE PRODUCTION D'ÉNERGIE ET D'UTILITÉ PUBLIQUE

215-111. Normes pour la construction des ouvrages hydrauliques, murs de quai (Normer for vandgynings konstruktioner). *Dansk Ingeniørforening*, Danm. (1950), 5^e édit., 22 p., 1 fig. — Domaines de validité des présentes règles, calculs statiques et dimensionnement, calcul de la pression des terres, contraintes autorisées. Exécution des travaux : constructions en bois, métallique, en béton armé, en gros béton. — E. 48450. — Trad. Serv. Docum. Ponts Chauss. n° 1148, 21 p. CDU 627.33 : 626 : 624.04/1.

Fib 1 Dépôts de marchandises. Marchés. Hangars. Magasins.

216-111. Silos souterrains en béton (Silos subterraneos de hormigon). *Cemento Portland*, Argent. (juil. 1957), n° 43, p. 17-21, 12 fig., 1 réf. bibl. — A Villa Constitucion, province de Santa Fe, la Direction de la Construction d'Élévateurs de Grains construit sa première installation de 170 000 t de capacité. — Description de vingt-deux silos souterrains cylindriques horizontaux de section semi-circulaire de 12 m de diamètre en béton armé. — La longueur des silos varie entre 48 et 160 m. — Couverture cylindrique en béton armé de 8,7 m de rayon avec hourdis creux en béton. — E. 49649. CDU 725.36 : 624.134 : 624.012.45.

Fib n Production d'énergie. Ouvrages hydrauliques. Barrages. Régularisation des cours d'eau.

217-111. L'aménagement hydroélectrique à accumulation par pompage de Geestacht (All). Un problème pour l'industrie de la construction. (Das Pumpspeicherwerk Geestacht. Eine Aufgabe für die Bauwirtschaft). BRANDENBURG (C.); *Bauwirtschaft*, All. (21 sep. 1957), n° 38, p. 1144-1152, 19 fig., 3 réf. bibl. — Description des installations : bassin d'accumulation de 3,3 millions de m³, digues de retenue en terre, revêtements bitumineux, ouvrage de prise, conduite forcée. — Organisation des chantiers et exécution des travaux. — E. 49638. CDU 627.8/5 : 628.12 : 621.311.

218-111. Aménagement hydroélectrique d'Argentat. CAPITAINE (E.), LUTON (R.); *Modernisation*, Fr. (1957), n° 25, p. 27-58, 31 fig. — Régime hydrologique de la Dordogne, considérations sur le choix des solutions adoptées. — Caractéristiques du barrage-usine en forme d'usine-piles ainsi que des ouvrages de dérivation et des batardeaux. — Equipement de l'usine et matériel électro-mécanique. — E. 49496. CDU 627.8/1 : 621.311.

219-111. Aménagement conçu pour une vallée étroite. La centrale hydroélectrique de Salime (Espagne) est construite sous le déversoir (Design for a narrow valley. Salime hydroelectric station is built beneath the spillway).

Engineering, G.-B. (22 mars 1957), vol. 183, n° 4750, p. 354-356, 4 fig. — Description du barrage poids-voute de 132 m de hauteur et de 251 m de longueur à la crête et de l'aménagement de la centrale. — E. 46858. CDU 627.8 : 621.311.21.

220-111. Etudes préliminaires, conception, construction et mise en service du barrage de Guthega, de l'aménagement hydroélectrique des Snowy Mountains (Australie) (The investigation, design, construction and commissioning of the Guthega project of the Snowy Mountains scheme). *J. Instn Engrs*, Austral. (juin 1957), vol. 29, n° 6, p. 129-158, 32 fig. — Géologie du site, hydrologie, caractéristiques du barrage-poids en béton : hauteur maximum : 33,5 m, longueur à la crête : 137 m. — Description du canal d'amenée, des conduites forcées, de la centrale. — Organisation du chantier et exécution des divers travaux. — E. 49522. CDU 627.8 : 621.311.

221-111. Quelques expériences faites pour l'étude du projet et pour la construction d'un barrage-poids en Anatolie (Einige Erfahrungen über Entwurf und Bau einer Schwerkraftstaumauer in Anatolien). JURECKA (W.); *Oesterr. Bauzsch.*, Autr. (juil.-août 1957), nos 7-8, p. 149-156, 10 fig. — Étude du barrage en béton de Sariyar achevé en 1956. Hauteur : 108 m, développement à la crête : 250 m. — Choix du type de barrage, exécution des travaux, chantier de bétonnage. — E. 49486. CDU 627.8 : 693.5.

222-111. Barrages-voutes : études des contraintes pour les barrages de Ross et de Diablo (U. S. A.) (Arch dams : stress studies for Ross and Diablo dams). RICHARDSON (J. T.), OLSEN (O. J.); *J. Pow. Div.*, U. S. A. (juin 1957), vol. 83, n° P03 : *Proc. A. S. C. E.*, Pap. 1267, 26 p., 12 fig., 6 réf. bibl. — Mémoire présenté au Colloque de l'A. S. C. E. sur les barrages-voutes, tenu à Knoxville en juin 1956. Résultats d'une étude prolongée des contraintes enregistrées par des extensomètres appliqués au barrage de Ross. — Résultats d'une étude préliminaire effectuée au barrage de Diablo. — E. 48541. CDU 531.7 : 627.8 : 624.072.32.

223-111. Barrages-voutes : étude économique des barrages en béton (Arch dams : economy of concrete dams). PULS (L. G.); *J. Pow. Div.*, U. S. A. (juin 1957), n° P03 : *Proc. A. S. C. E.*, vol. 83, Pap. 1286, 12 p., 2 fig. — Mémoire présenté au Colloque de l'A. S. C. E. sur les barrages-voutes, tenu à Knoxville en juin 1956. — Étude des prix de revient indiqués par les représentants de différents pays. — E. 48541. CDU 69.003 : 627.8 : 624.072.32.

224-111. Les barrages-voutes : développement de recherches sur modèles en Italie (Arch dams : development of model researches in Italy). OBERTI (G.); *J. Pow. Div.*, U. S. A. (août 1957), vol. 83, n° P04 : *Proc. A. S. C. E.*, Pap. 1351, 34 p., 12 fig., 12 réf. bibl. — Mémoire présenté au Colloque de l'A. S. C. E. sur les barrages-voutes, tenu à Knoxville en juin 1956. — Discussion générale des possibilités réelles des études sur modèles, basées sur la théorie de la similitude. — Importants barrages-voutes italiens étudiés sur modèles. — E. 49506. CDU 624.04 : 627.8 : 69.001.5.

225-111. La construction du barrage de Kokin Brod (Yougoslavie) (Projekat nasufne brane « Kokin Brod »). RAJCEVIC (B.); *Nase Gradvinarstvo*, Yougosl. (juil. 1957), vol. 11, n° 7, p. 193-200, 5 fig., (résumé anglais). — Étude de cet ouvrage en cours de construction. Il s'agit d'un barrage de type mixte en terre et en enrochements. Hauteur maximum : 95 m. — E. 49126. CDU 627.8 : 691.4/2.

226-111. Bibliographie des centrales hydroélectriques souterraines (Bibliography of underground hydroelectric power plants). COOKE (J. B.), STRASSBURGER (A. G.); *J. Pow. Div.*,

U. S. A. (août 1957), vol. 83, n° P04 : *Proc. A. S. C. E.*, Pap. 1350, 36 p., 1 fig. — Bibliographie annotée de 1912 à 1956 inclus; 213 articles. — Tableau général des centrales souterraines avec leurs caractéristiques. — E. 49506. CDU 621.311.21 : 624.19 (01).

227-111. Vannes cintrées (Bagsättar). THRAN (U.); *Tek. T.*, Suède (23 avr. 1957), n° 17, p. 389-395, 15 fig. — Vannes semi-circulaires de 17 m de diamètre pour réglage des gros débits à l'air libre. Etude des efforts supportés, des coefficients de sécurité, du profilage et de la construction de ces vannes. — E. 47410. CDU 621.646.2 : 626.

228-111. Problèmes de travaux publics dans la réalisation d'une centrale thermo-électrique : les terrassements et les fondations de Porcheville. MARTIN-LAVALLEE (F.); *Ann. I. T. B. T. P.*, Fr. (nov. 1957), n° 119, (Travaux publics : 46), p. 1247-1268, 2 fig. — L'implantation de l'usine de Porcheville a comporté d'abord le remblaiement d'un petit bras de la Seine sur la rive droite du fleuve; le travail a été exécuté par dragues suceuses refoulant directement les déblais dans les zones à remblayer par l'intermédiaire d'une conduite flottante. Le nivellement de la plateforme de l'usine a été réalisé à l'aide de bulldozers et de scrapers opérant dans le sable et le gravier. Les fondations ont été constituées par des pieux de gros diamètre forés et moulés dans le sol pour le bloc-usine et par des pieux battus pour les autres parties de la centrale; les pieux ont été descendus jusque dans une couche de craie résistante. L'usine comporte deux cheminées de 125 m de hauteur. Les ouvrages de prise et de retour d'eau ont été exécutés à l'abri de rideaux de palplanches. L'exposé se termine par un examen général des conditions d'exécution des centrales. — E. 50191. CDU 624.132 : 624.154 : 621.311.22.

Fic BATIMENTS PUBLICS

229-111. Caisse centrale d'Allocations Familiales de la Région Parisienne. Conception architecturale. Réalisation technique. LOPEZ (R.), REBY (M.), PASCAUD (S.); *Acier*, Fr. (sep. 1957), n° 9, p. 337-350, 30 fig. — Etude détaillée des différents bâtiments en cours de construction. — Le bâtiment principal est à douze niveaux, avec neuf étages en charpente métallique. Planchers légers métalliques. Façades suspendues en panneaux de matière plastique. — E. 49516. CDU 725.23 : 624.014.25 : 69.022.325 : 691.175.

Fid VOIES DE COMMUNICATION

Fid ja Routes.

230-111. Recherches dans le domaine de la technique routière en 1956. Rapport du Road Research Board (de Grande-Bretagne) et rapport du Président du Road Research (Road research 1956. The report of the Road Research Board with the report of the Director of Road Research). *Dept. Sci. Industr. Res. (H. M. S. O.)*, G.-B. (1957), 88 p., 28 fig., 12 fig. h.-t., 31 réf. bibl. — Compte rendu d'ensemble des progrès réalisés dans les différents domaines : sécurité, trafic, matériaux et procédés de construction, béton, matériaux bitumineux. Compte rendu d'essais. — E. 49240. CDU 625.7 (06) (410).

231-111. Réfection des vieux revêtements par application de couches de surface (Salvaging old pavements by resurfacing). *Nation Acad. Sci. Nat. Res. Council.* (publ. 495), U.S.A. (1957), *Highw. Res. Board*, Bibl. 21, 47 p. — Bibliographie annotée d'articles et ouvrages américains parus depuis 1916. — E. 48979. CDU 69.059 : 625.8 (01).

232-111. Projet de construction d'une route en béton précontraint à armatures prétendues (Proeve van een ontwerp voor een weg in voorgespannen beton). OBERTOP (D. H. F.); *Wegen*, Pays-Bas (juin 1957), n° 499, p. 162-167, 180, 2 fig., 1 réf. bibl. (résumé anglais). — Projet de chaussée expérimentale d'une longueur de 1 000 m constituée de dix dalles de 100 m, d'une épaisseur de 12 cm. — E. 48625. CDU 625.84 : 624.012.46.

233-111. Proposition de réalisation d'un revêtement routier expérimental en béton précontraint (Suggested design for an experimental prestressed concrete pavement). COPPAGE (E. J.); *Roads-Streets*, U. S. A. (août 1957), vol. 100, n° 8, p. 80-82, 86-87, 7 fig. — Description détaillée d'un système de revêtement routier précontraint sans armatures au moyen de butées et de vérins. — E. 49367. CDU 624.84 : 693.564.

234-111. Mélange asphalte, sable et gravier pour le revêtement des routes rurales (Asfaltgrintzand als verhardingsmethode voor landbouwwegen). VIJK (J. H. de); *Polytech. T.*, Pays-Bas (18 juil. 1957), n° 29-30, p. 511B-516B, 13 fig. — Les nouveaux lotissements de terrains de culture aux Pays-Bas comportent la création d'un réseau routier répondant aux exigences modernes. L'expérience a montré qu'un revêtement de 5 à 10 cm de sable, gravier et asphalte remplit les conditions voulues. — Description de la méthode de confection et d'épandage, appliquée déjà sur 90 km de routes rurales. — E. 48890. CDU 625.85 (492).

235-111. Structure des revêtements routiers en asphalte et appréciation de leurs caractéristiques de résistance, à la lumière des conceptions et des procédés de contrôle américains. I. II. (fin) (Der Aufbau von Asphaltdecken und die Beurteilung ihrer Festigkeitseigenschaften auf Grund amerikanischer Anschauungen und Prüfverfahren). SCHMIDT (H.); *Bitumen*, All. mai 1957), n° 3, p. 63-69, 7 fig., 5 réf. bibl. (juil. 1957), n° 5-6, p. 116-119, 5 fig., 7 réf. bibl. — E. 48205, 49302. CDU 626.85 : 539.4 : 620.1.

236-111. Déflexions de chaussées et ruptures par fatigue (Pavement deflections and fatigue failures). HVEEM (F. N.); *Highw. Res. Board*, U. S. A. (1955), Bull. n° 114, p. 43-80, 61 fig., 9 réf. bibl. — Etude de la déformation produite par le passage de véhicules et consistant en un affaissement passager, suivi d'une remontée après le passage du véhicule. Mesures des déflexions sur une grande variété de chaussées aux U. S. A. Résistance des chaussées à la fatigue. Méthodes de laboratoire pour les essais de compressibilité d'échantillons de sols. Discussion. — E. 49663. — Trad. Serv. Docum. Ponts Chauss. n° 1170, 75 p. CDU 624.043/4 : 625.71 : 531.7 : 539.3/4.

237-111. Essais pour l'appréciation des couches de fondation de chaussées en béton (Tests to evaluate concrete pavement subbases). CHILDS (L. D.), COLLEY (B. E.), KAPERNICK (J. W.); *J. Highw. Div.*, U. S. A. (juil. 1957), n° HW3 : *Proc. A. S. C. E.*, vol. 83, Pap. 1297, 41 p., 34 fig., 24 réf. bibl. — Essais destinés à apprécier l'influence des couches de fondation de revêtements routiers en béton sur la résistance de l'ensemble. Comparaison des résultats aux valeurs calculées par l'application de la théorie de Westergaard. — E. 49054. CDU 69.001.5 : 625.73/84.

Fid je Voirie urbaine.

238-111. L'infrastructure flexible dans la construction des rues de Hambourg (Flexibler Unterbau im Stadtstrassenbau Hamburgs). BECKMANN (K.); *Bitumen*, All. (juil. 1957), n° 5-6, p. 104-115, 35 fig., 2 réf. bibl. — E. 49302. CDU 625.73/712.

Fid l Ouvrages pour la navigation.

239-111. Construction d'un mur de quai pour service de transbordement dans le port Ouest d'Amsterdam. I. II. (fin) (De bouw van de kademuur c. a. ten behoeve van het overslagbedrijf aan de Westhaven te Amsterdam). WESSELS (W.); *Polytech. T.*, Pays-Bas (9 mai 1957), n° 19-20, p. 334b-338b, 9 fig.; (23 mai 1957), n° 21-22, p. 369b-376, 16 fig. — Ouvrage de 430 m de long en éléments préfabriqués de béton armé. Profondeur d'eau de 11 m que l'on portera à 13 m. Fondation sur groupes de pieux inclinés en béton armé de 17 à 20 m de long. — Description des travaux exécutés pendant la période du 27 octobre 1954 au 23 mai 1956. — E. 47697, 47886. CDU 627.33 : 624.012.3/45 : 624.154.

240-111. Etude et réalisation des travaux d'extension de l'apportement Apapa dans le port de Lagos (Nigéria) (Design and construction of the Apapa wharf extension, Lagos). COODE (D. C.); *Proc. Instn. Engrs*, G.-B. (juil. 1957), vol. 7, p. 499-536, 18 fig. — Description de l'aménagement, mur de quai en blocs de béton sur fondations en enrochements. Discussion. — E. 48779. CDU 627.33 : 624.012.3 : 624.15.

Fif OUVRAGES D'ART

Fif m Ponts.

241-111. Ponts-route en Rhénanie-Palatinat (Strassenbrücken in Rheinland-Pfalz). SCHNECKE (H.); *Strassen-Tiefbau*, All. (août 1957), n° 8, p. 462-468, 38 fig. — Aperçu d'ensemble sur la reconstruction des ponts-routes sur le Rhin, la Moselle et la Lahn, avec principales caractéristiques des ouvrages. Large emploi d'éléments préfabriqués en béton. Etude de divers ponts biais et du procédé de construction en encorbellement. — E. 49457. CDU 624.2/8 : 625.7 (43).

242-111. Le pont-rail sur le Rhin entre Kehl et Strasbourg. I. II. (fin). (Eisenbahnbrücke über den Rhein zwischen Kehl und Strassburg). EMMERICH (O.), BRANDEL; *Stahlbau*, All. (juin 1957), n° 6, p. 160-166, 17 fig.; (juil. 1957), n° 7, p. 191-195, 5 fig. — Aperçu historique, étude des divers projets de reconstruction présentés après la guerre. Description du nouvel ouvrage en treillis métallique à trois travées de 74,5, 74,5 et 89 m de portée. — E. 48258. CDU 624.28.014.2 : 625.1.

243-111. Le pont sur la Weser à Nienburg (All.) (Der Stromüberbau Weserbrücke Nienburg). SEDLACEK (H.); *Stahlbau*, All. (juin 1957), n° 6, p. 167-173, 13 fig., 8 réf. bibl. — Description du nouveau pont-rail à poutres en treillis d'une longueur totale de 235,7 m sur trois travées de 67,3, 101 et 67,3 m de portée. — E. 48258. CDU 624.28.014.2 : 625.1.

244-111. Tabliers mixtes fer-béton pour trois ponts-routes de la région de Fès. GERBIER (M.); *Travaux*, Fr. (sep. 1957), n° 275, p. 453-470, 30 fig. — Ponts à hourdis en béton sur poutres métalliques. — Description du pont de Bab R' Nem sur l'Ouerrha à quatre travées continues de 21, 24, 24 et 21 m; du pont sur l'Innaouène, identique au précédent; du pont de Guercif sur le Melloulou à trois travées continues de 21, 24 et 21 m de portée. — Prix de revient. — Mesure d'une réaction d'appui, gradient thermique, retrait, essais sous charges roulantes, mesures directes des contraintes, mesure directe du coefficient d'élasticité du béton du hourdis. — E. 49355. CDU 624.27.624.016.

245-111. Conception des viaducs de Neath et Briton Ferry (Grande-Bretagne) (The design of Neath and Briton Ferry viaducts). MEARS (R. P.), POOL (E. E.); *Proc. Instn. civ. Engrs*.

G.-B. (juil. 1957), vol. 7, p. 465-498, 13 fig., 8 fig. h.-t., 5 réf. bibl. — Description des deux ouvrages consécutifs ayant respectivement 609 et 304 m de portée totale et comportant en tout vingt-huit travées. Superstructure constituée de tôles pleines. Au pont de Neath, les piles sont en béton armé; à Briton Ferry, le tablier repose sur des palées métalliques. Discussion. — E. 48779. CDU 624.27.014.2 : 624.166.

246-111. Nouveaux ponts dans le Tessin (Neuere Brückenbauten im Tessin). KRÜSI (W.); Schweiz. Bauztg, Suisse (21 sep. 1957), n° 38, p. 605-609, 15 fig. — Description des deux ponts en béton précontraint de Sordo et de Brenno. — Le pont de Sordo est un pont biais constitué par un portique à deux articulations de 58,25 m de portée. — Le pont sur le Brenno est également un pont biais en portique à deux articulations de 53 m de portée. — E. 49643. CDU 624.27.012.45 : 624.078.

247-111. Essais de ponts en arc en maçonnerie (Masonry arch bridges: a study). CHETTOE (C. S.), HENDERSON (W.); Proc. Instn. civ. Engrs. G.-B. (août 1957), vol. 7, p. 723-774, 31 fig., 9 fig. h.-t., 4 réf. bibl. — Compte rendu d'essais de résistance de ponts en arc de divers types existant en Grande-Bretagne au moyen d'un véhicule conçu pour appliquer des charges comprises entre 20 et 90 t. Interprétation des résultats d'essais et conclusions. Texte de la discussion. — E. 49236. CDU 69.001.5 : 624.6 : 693.1.

248-111. Grands ponts en béton armé sur l'autoroute Pompéi-Salerne (Grandi ponti in cemento armato sull'austrostrada Pompei-Salerne). GRASSINI (P.); Industr. ital. Cemento. Ital. (sep. 1957), n° 9, p. 207-212, 15 fig. — Caractéristiques générales des ouvrages suivants : Pont sur le Vallone Rotolo : deux arcs de 60 m de portée, longueur : 300 m. — Pont

sur le Vallone Sordolo : un arc de 60 m de portée, longueur : 130 m. — Pont sur le Vallone S. Liberatoro : un arc de 60 m de portée, longueur : 111 m. — Viaduc de Vietri : pont à poutres sur pieux, de 161 m de longueur. — Pont Madonna degli Angeli : un arc de 61 m de portée, longueur : 111,5 m. — Pont Caiafa, un arc de 106,5 m de portée, longueur : 204,5 m. — Pont Vallone Olivieri, un arc de 76 m de portée, longueur : 137 m. — Viaduc Madonna del Monte : pont à poutres sur pieux, de 110 m de longueur. — E. 49565. CDU 624.21.012.45 : 624.6 : 624.27.

249-111. Le nouveau pont de la Hafenbahn sur le Neckar à Heilbronn (Die neue Hafenbahnbrücke über den Neckar in Heilbronn). MADER (F. W.); Stahlbau, All. (juin 1957), n° 6, p. 174-176, 8 fig., 1 réf. bibl. — Pont métallique en arc à tablier inférieur à travée unique de 87,5 m de portée. Déplacement et mise en place de l'ouvrage métallique préfabriqué. — E. 48258. CDU 624.6.014.2 : 624.21.059.

250-111. Projet de pont suspendu sur le fjord de Skive (Jutland), à Hvalpsund (Haengebros over Hvalpsund og om haengabroer i Danmark). OSTENFELD (Chr.), JONSON (W.); Ingeniøren, Danm. (1^{er} mai 1957), n° 16, p. 369-372, 6 fig. — Pont suspendu à une travée médiane de 350 m et deux travées latérales de 140 m, entre Hvalpsund et Sandsøre, près du Limfjord (Jutland). Comparaison avec les ouvrages analogues de Tancarville (Seine), de Cologne (Rhin), de Kristiansand (Norvège) et de quelques autres ouvrages. — E. 47481. CDU 624.5.01.

251-111. Le pont-route de Tancarville. — Travaux, Fr. (sep. 1957), n° 275, p. 479-489, 29 fig. — Description complète de l'ouvrage, indications sur l'état d'avancement des travaux. — E. 49355. CDU 624.5 : 624.27.012.46.

252-111. Des vérins soulèvent un pont pour augmenter son tirant d'air de 25 m (Jacks lift bridge to provide 80 feet more clearance). Engng. News-Rec., U. S. A. (15 août 1957), vol. 159, n° 7, p. 52-54, 56, 8 fig. — Relevage du pont Jacques Cartier, sur le canal du St-Laurent, à Montréal. — E. 49308. CDU 624.21.059.5.

Fo INCIDENCES EXTÉRIEURES

Foc Entretien. Réparations.
Comportement des ouvrages.
Déplacement des ouvrages.

253-111. Reprise en sous-œuvre au moyen de palplanches précontraintes (Prestressed sheetpile underpinning). SWIGER (W. F.); Civ. Engng. G.-B. (juin 1957), vol. 27, n° 6, p. 66-69, 10 fig. — Description de la technique employée lors des travaux d'extension d'une centrale près de Pittsburgh pour prévenir les affaissements de bâtiments existants. — E. 48583. CDU 624.159.4 : 69.022.2 : 624.043.

Fod Modifications. Démolitions.
Désordres. Renforcement.

254-111. Les dégâts dus à l'humidité dans les bâtiments (Feuchtigkeitsschäden an Bauwerken). KIESLINGER (A.); Zement-Beton. Autr. (juin 1957), n° 9, p. 1-7, 12 fig., 6 réf. — Les diverses formes d'humidité (humidité de construction, d'habitation, vent humide, pluie-humidité du sol) et leurs répercussions. — E. 49005. CDU 69.059.2 : 699.82.

II. — BIBLIOGRAPHIE

Chaque analyse bibliographique donnant le nom et l'adresse de l'éditeur et le prix de vente. Les adhérents de l'Institut Technique sont priés de s'adresser directement aux éditeurs ou aux librairies pour se procurer les ouvrages qu'ils désirent acquérir ; toutefois pour les ouvrages édités à l'étranger, il est préférable de les commander par l'intermédiaire de librairies spécialisées dans l'importation. Tous renseignements complémentaires seront fournis sur demande par l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics, 6, rue Paul-Valéry, Paris XVI^e.

B-2281. Triangulation cadastrale. GABET (J.); Edit. : Eyrolles, 61, Bd Saint-Germain, Paris, Fr. (1957), 1 vol. (15 × 24 cm), 236 p., 135 fig., F 2185. — Le présent ouvrage constitue essentiellement un traité théorique et pratique de triangulation qui, sans sortir du cadre des mathématiques élémentaires, est destiné à assurer dans les meilleures conditions la formation des opérateurs et des calculateurs. — Il rendra de précieux services aux candidats aux examens ainsi qu'aux élèves des écoles spécialisées dans la formation des géomètres et des topographes. — Grâce au développement donné à la pratique de la triangulation, tant sur le terrain qu'au bureau, l'ouvrage s'adresse également aux praticiens, ingénieurs ou géomètres. — Systèmes de projection utilisés en France, réseaux géodésiques français, dispositions réglementant l'exécution des triangulations. Calculs de triangulation par la méthode du point approché. Orientation et mesurage des bases. Polygonation de précision. Nivellement géodésique. — Processus des travaux de triangulation cadastrale. Notions sur la triangulation radiale. — E 49696.

B-2282. Manuel de l'air comprimé. Edit. : Eyrolles, 61 Bd. Saint-Germain, Paris, Fr. (1957), 1 vol. (16 × 24 cm), 470 p., 333 fig., F 5 780. — Ouvrage réalisé par l'Institut de l'Air et des Gaz comprimés des Etats-Unis

(Compressed Air and Gas Institute). — Traduit de l'américain par J. CONFIDA, le présent ouvrage contient de très nouveaux renseignements pratiques qui ont été recueillis par le « Compressed Air and Gas Institute » au cours d'une enquête qui s'est poursuivie aux Etats-Unis pendant douze années dans les usines, bureaux d'études, établissements commerciaux, ateliers, chantiers. — Revue d'ensemble sur les principales applications de l'air et des gaz comprimés dans les différentes industries. Description détaillée des outils portatifs à air comprimé et des perforatrices à roche et de leurs accessoires. — Etude du réseau de distribution d'air comprimé. — Caractéristiques des compresseurs volumétriques. Etude des soufflantes et des compresseurs du type dynamique. Essais des compresseurs, des soufflantes, et des pompes à vide volumétriques. Interprétation des résultats des essais pour les compresseurs volumétriques. Pompes à vide du type volumétrique à mouvement alternatif. Compresseurs, soufflantes et pompes à vide volumétrique rotatifs. Essais des soufflantes, des compresseurs et des pompes à vide centrifuges. — E. 49662.

¶ B-2283. Guide pratique pour l'utilisation du tube d'acier. — Edition de la Chambre syndicale des Fabricants de Tubes en Fer et en Acier, 37, avenue Georges-V, Paris, Fr. (1956),

~5^e édit. rev. et compl., 1 vol. (13,5 × 20,5 cm 202 p., 110 fig. — Variété des caractéristiques et nombreux domaines d'utilisations des tubes d'acier. — Renseignements sur leur fabrication. Distribution d'eau et de gaz : installations particulières et colonnes montantes, branchements domiciliaires, moyens d'exécution et outillage nécessaire. — Conduites d'évacuation : descentes d'eaux pluviales, chutes de W. C., de lavabos, tuyauteries de ventilation. Canalisations électriques. Travaux de serrurerie. — E. 49686.

B-2284. Cinquième Congrès international des grands Barrages, mai-juin 1955. — Vol. I, II, III, IV. — Commission internationale des grands Barrages de la Conférence mondiale de l'Energie, Bureau central permanent, 91, rue Saint-Lazare, Paris, Fr., Comptes rendus, 4 vol. (15,5 × 24,5 cm), nombr. fig., textes en français et en anglais. — Vol. I, Question n° 16 : Projet et construction de barrages sur sols perméables et méthodes de traitement de la fondation, (1956), 896 p. — Texte de 30 rapports concernant : études préalables de la fondation, théoriques et expérimentales, en laboratoire et sur le terrain; étanchement de la fondation; consolidation de la fondation; études menées, après la construction des barrages, en vue de contrôler le comportement de l'ouvrage et du terrain d'assise. — Vol. II, Question n° 17 :

ilan économique et sécurité des différents types de barrages en béton, (1956), 431 p. — Texte du rapport général des 18 rapports présentés et des discussions. — Sécurité et économie dans les barrages en béton aux U. S. A. — Prix et délais d'exécution des barrages de Santa Nova, Salamonde et Caniçada (Portugal). — Comparaison entre les différents projets établis pour la construction du barrage de Oker (Allemagne). — Notes sur l'économie et la sécurité de divers types de barrages en béton. — Considérations sur trois barrages-voûtes du Brésil (Portugal). — Considérations sur la comparaison entre des éléments du prix de revient et quelques barrages italiens en béton. Intérêt économique des différents types d'ouvrages du barrage composite de l'Oued Mellegue, en Tunisie. — Utilisation de la méthode de la récontrainte au barrage d'Allt-Na-Lairige (Ecosse). — Etude rationnelle et économiques des grands barrages par l'utilisation des essais sur modèles. — Barrages en maçonnerie de terre dans l'Inde. Economie et sécurité des divers types de barrages en béton. — *Vol. III, Question n° 18 : Tassement des barrages dû à la compressibilité des matériaux constitutifs du barrage ou de la fondation, y compris les questions liées aux tremblements de terre*, (1957), 27 p. — Texte du rapport général, des 27 rapports particuliers et des discussions. — Consolidation des terrains de fondation des barrages en terre ou en enrochements, et des barrages en béton. Tassements et déformations des fondations en rocher des barrages en béton. Déplacements des flancs d'une vallée sous l'effet de la charge hydrostatique. Tassements des matériaux constituant les barrages en terre et enrochements et du béton des barrages. — Effet des remblais de terre sur les barrages. — *Vol. V, Question n° 19 : Effet du dosage en ciment sur*

le comportement observé, a) des barrages-voûtes — intérieur et extérieur — b) des barrages-voûtes, c) des barrages à contreforts, et influence de ce dosage sur la perméabilité et la résistance au gel, (1957), 1537 p. — Texte du rapport général, des 20 rapports individuels, du rapport du Sous-Comité international du béton pour grands barrages, de différentes communications, et des discussions. — Etude du béton de haute qualité, à faible dosage, pour les grands barrages aux U. S. A. — Influence de la proportion et de la finesse du ciment dans le béton des barrages sur la perméabilité et sur la résistance au gel. — Commentaires basés sur l'expérience de la Suède, sur le comportement du béton dans les constructions hydrauliques. — Quelques observations sur le comportement du béton des barrages de Lucendro et de Sella dans le Massif du Saint-Gothard. — Le dosage en ciment dans les bétons des derniers barrages-voûtes construits au Portugal et en Grande-Bretagne. — Rapports sur la gélivité des bétons et sur la définition de la composition des bétons. — E. 49287, 49288, 49289, 49290 A.

B-2285. *Tables pour l'hydraulique et les travaux de terrassement* (Hydraulic and excavation. Tables). U. S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation — U. S. Government Printing Office, Washington, U. S. A. (1957), 11^e édition, 1 vol. (11 × 17,5 cm), 350 p. — L'ouvrage est destiné principalement aux ingénieurs du Bureau of Reclamation des U. S. A., et présente de nombreuses modifications et adjonctions par rapport aux dix éditions précédentes dont la première remonte à 1905. — Il comprend 71 tables concernant notamment : vitesse moyenne de l'eau dans les canaux ouverts, calculée d'après la formule de Manning, profondeur critique, écou-

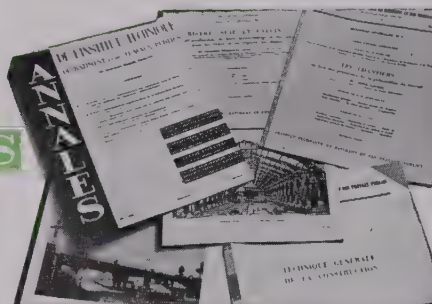
lements uniformes, vitesse et débit aux profondeurs critiques et pressions statiques dans les conduits circulaires partiellement remplis, écoulement uniforme dans les sections en fer à cheval, débit des déversoirs; volume des terres transportées au cours des travaux de terrassement. — E. 49155.

B-2286. *Comptes rendus du Quatrième Congrès international de Mécanique des Sols et des Travaux de Fondations*, Londres 12-24 août 1957. — Edit. : Butterworths scientific Publications, Londres, G.-B. (1957), 2 vol. (22 × 29 cm) Vol. I. Divisions 1 à 3a : 466 p., nombr. fig., nombr. réf. bibl., L. 26.5 s. — Vol. II, Divisions 3b-6 et rapports, 467 p., nombr. fig., nombr. réf. bibl., L. 26.5 s. — Textes en français et en anglais. — *Vol. I.* La Division 1 traite de la mesure et des propriétés des sols. Elle comprend 30 rapports consacrés à l'étude des propriétés fondamentales et naturelles des sols et 15 rapports relatifs à leurs propriétés mécaniques. — La Division 2 est intitulée « Méthodes pour mesures sur place et prélèvement d'échantillons », et comprend 9 rapports. — La Division 3a intitulée : « Fondations de constructions » est consacrée à l'étude des sujets généraux et des fondations autres que les fondations sur pieux. Elle comprend 44 communications. — *Vol. II.* La Division 3b comprend 17 communications et est consacrée à l'étude des pieux et des fondations sur pieux. — La Division 4 traite des routes, pistes d'envol et voies ferrées, et comprend 20 communications. La Division 5 étudie la poussée des terres sur les ouvrages et tunnels, et comporte 13 communications. — La Division 6 décrit les barrages en terre, talus et tranchées ouvertes, avec 30 communications. — Viennent ensuite les rapports généraux. — E. 49465, 49466A.



POUR VOUS TENIR
AU COURANT
DES PROJETS
RÉALISÉS DANS
LA TECHNIQUE
DE LA
CONSTRUCTION

LISEZ
LES
ANNALES
DE
L'INSTITUT TECHNIQUE
DU BATIMENT ET
DES TRAVAUX PUBLICS



Vous consacrez un budget important à votre documentation, mais elle ne peut être complète.

Nous lisons pour vous dans toutes les langues, un coup d'œil sur les rubriques de notre

DOCUMENTATION TECHNIQUE

et vous saurez tout ce qui a paru concernant votre spécialité chez tous les éditeurs et dans 200 revues de tous pays.

Des analyses courtes, claires, objectives, vous signaleront la littérature qui vous est utile

vous voulez être renseigné sur une technique qui ne vous est pas familière.

Écrivez à notre

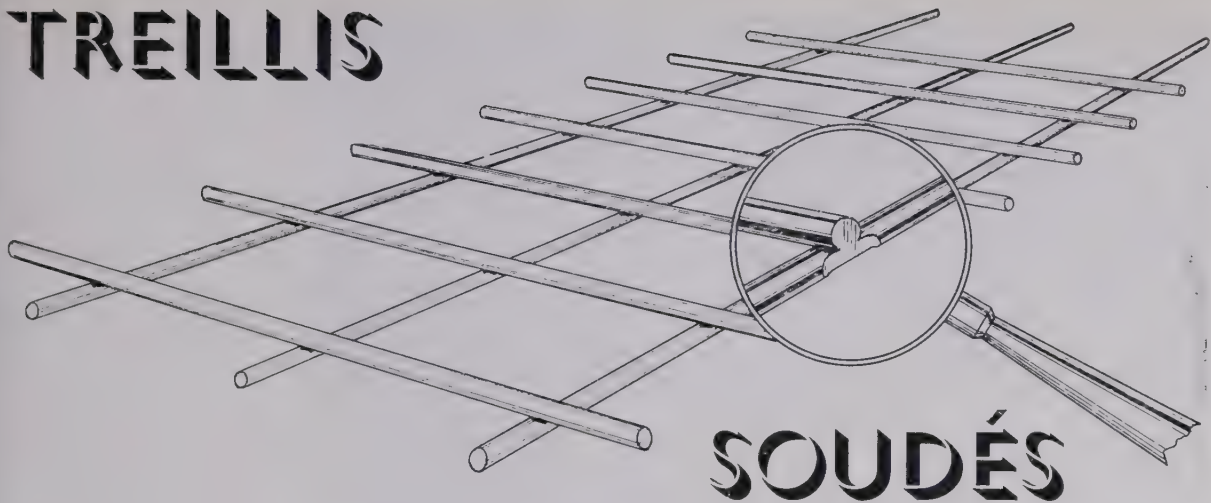
SERVICE DE DOCUMENTATION

Il vous fournira rapidement les références et les documents qui vous manquent.

Il établira aux meilleurs conditions la traduction correcte du document étranger qui vous intéresse.

(Reproduction interdite)

TREILLIS



SOUDÉS

LES treillis soudés sont des armatures préfabriquées pour béton armé, formées de fils tréfilés assemblés rigidement, en mailles carrées ou rectangulaires, par soudure électrique. Les fils utilisés ayant, après tréfilage, une limite d'élasticité conventionnelle supérieure à 40 kg/mm^2 , les seules règles applicables jusqu'à présent pour l'emploi des treillis soudés étaient les règles 1948 ronds n'_e 40-60 sur l'utilisation des ronds lisses de limite d'élasticité supérieure à 40 kg/mm^2 .

Des recommandations pour l'utilisation de cette armature spéciale viennent d'être définies,

à la suite d'essais entrepris aux Laboratoires du Bâtiment et des Travaux Publics, sur l'initiative d'une Commission composée de représentants de la Chambre Syndicale des Constructeurs en Ciment Armé de France, de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics et des Sociétés productrices de treillis soudés.

Ces recommandations sont applicables dès maintenant, en attendant la publication du règlement, actuellement à l'étude, qui remplacera les « Règles BA 45 ».

RECOMMANDATIONS POUR L'UTILISATION DES TREILLIS SOUDÉS

1. Caractéristiques mécaniques des fils de treillis

Les limites élastiques conventionnelles minimales que garantissent les Producteurs, mesurées sur des fils comportant des soudures, sont les suivantes :

- Fils de diamètre inférieur ou égal à 6 mm :

$$n'_{e_{\min}} = 55 \text{ kg/mm}^2.$$

- Fils de diamètre supérieur à 6 mm (jusqu'à 9,4 mm) :

$$n'_{e_{\min}} = 45 \text{ kg/mm}^2.$$

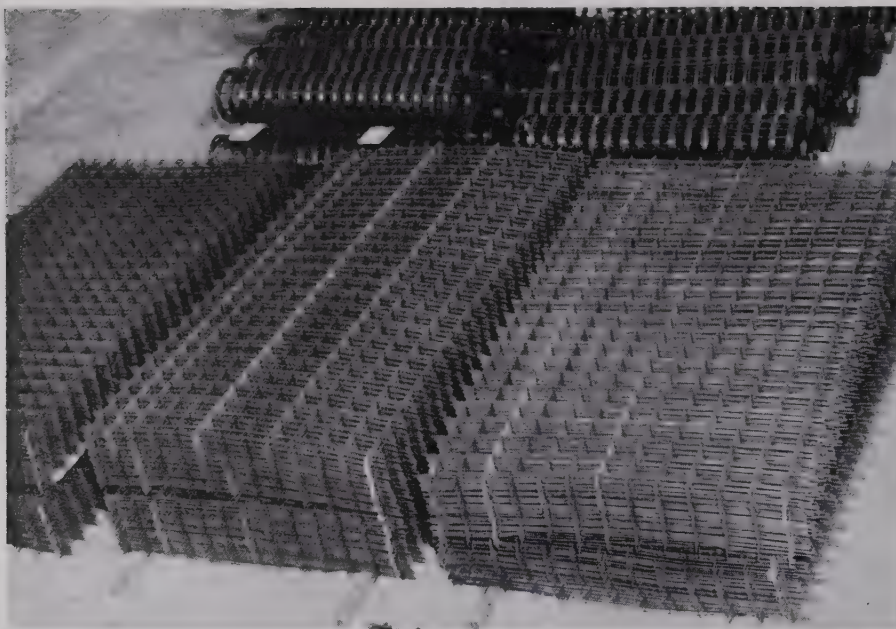
2. Contraintes de traction admissibles

Dans les hourdis fléchis, armés de treillis soudés, sous réserve que la résistance à la traction du béton à 90 jours d'âge n'_{90} soit au moins égale à $n'_e/200$, (n'_{90} et n'_e étant exprimées en kg/cm^2), les contraintes que l'on peut admettre sont les suivantes ⁽¹⁾ :

- $R'_a = 28 \text{ kg/mm}^2$ pour les fils de diamètre inférieur ou égal à 6 mm.

- $R'_a = 25 \text{ kg/mm}^2$ pour les fils de diamètre supérieur à 6 mm.

⁽¹⁾ Ces contraintes sont celles à introduire dans les calculs effectués conformément aux « Règles BA 45 »



Rouleaux et panneaux de treillis soudés.

Si la résistance à la compression à 90 jours d'âge n_{90} est seule connue, on prendra pour vérifier la condition $n'_{90} \geq \frac{n'_e}{200}$ les valeurs de n'_{90} résultant du tableau ci-dessous :

n_{90} (kg/cm ²)	250	300	350	400
n_{90}/n'_{90}	12	13	14	15

Si la condition $n'_{90} \geq \frac{n'_e}{200}$ n'était pas satisfaite les contraintes admissibles ci-dessus devraient être réduites dans le rapport :

$$\frac{200 n'_{90}}{n'_e}$$

3. Pourcentage minimum

Les hypothèses usuelles de calcul du béton armé ne sont applicables aux éléments fléchis armés de treillis soudés que dans la mesure où le pourcentage d'armatures n'est pas trop faible. Pour les hourdis fléchis il est conseillé de ne pas descendre au-dessous d'un pourcentage de 0,15 rapporté à la section totale ⁽¹⁾ tout en respectant les prescriptions 3,533, 3,534, 3,535 et 3,536 des « Règles BA 45 ».

4. Fissuration

Dans les calculs relatifs à la fissuration, on adoptera, pour le coefficient de forme K inter-

venant dans la formule qui donne l'ouverture limite des fissures, la valeur moyenne $K = 1,0$.

Cette formule est la suivante :

$$\Delta l_{\text{lim.}} = \frac{\varnothing \left(1 + 3 \frac{e_a}{e_b} \right) n'_a}{2 500 \sigma' K}$$

avec :

$\Delta l_{\text{lim.}}$ ouverture limite des fissures, exprimée en mm.

\varnothing diamètre des fils, exprimé en mm.

n'_a contrainte de l'acier, exprimée en kg/mm².

e_a somme des diamètres \varnothing des armatures rencontrées par le contour de fissuration longitudinale le plus défavorable (fig. 1).

e_b somme des épaisseurs de béton rencontrées le long de ce contour ⁽¹⁾.

(e_a et e_b sont exprimés avec la même unité de longueur).

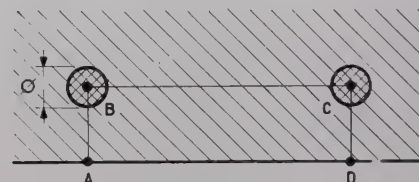


Fig. 1

$$e_b = AB + BC + CD = 2 \varnothing$$

⁽¹⁾ Voir : L.P. BRICE. Théorie de la fissuration des pièces en béton armé, *Annales I.T.B.T.P.*, juin 1952, n° 54 (Série : Béton. B. ton Armé n° 19) et Fissuration des corps fragiles en béton armé *Annales I.T.B.T.P.* janvier 1957, n° 109 (Série : Béton. Béton Armé, n° 43).

⁽¹⁾ Voir p. 3.

ω' pourcentage d'acier, rapporté à la section totale, soit, pour une section rectangulaire de largeur b , de hauteur h , ayant une armature de section ω' : $\omega' = \frac{100\omega'}{bh}$.

Les contours de fissuration à considérer sont définis par les figures 2 et 3.

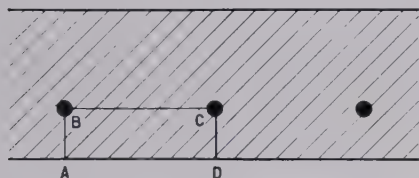


Fig 2. Cas d'une nappe

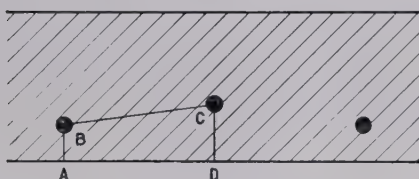


Fig 3. Cas de deux nappes

EXEMPLE : Calcul de la section d'armatures nécessaire pour le hourdis représenté sur la figure ci-dessous (fig. 4), supposé partiellement encastré sur les appuis de rive.

En prenant

$$p = 325 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{et } s = 250 \text{ kg/m}^2,$$

les valeurs des moments en travée et sur appuis sont les suivantes, avec

$$M_0 = \frac{(p + s) l^2}{8} = 1\,455 \text{ kgm}^{(1)}.$$

Moment en travée :

$$+ 0,70 M_0 = 1\,020 \text{ kgm}$$

Moment sur appuis de rive :

$$- 0,25 M_0 = - 364 \text{ kgm}$$

Moment sur appui central :

$$- 0,70 M_0 = - 1\,020 \text{ kgm}$$

a) Armatures en travée et chapeaux sur appui central

En admettant $R'_a = 25 \text{ kg/mm}^2$ et $h_1 = 10,5 \text{ cm}$, la section nécessaire par mètre est de : $4,3 \text{ cm}^2$.

Pour les fils de répartition, on prendra le quart de la section ci-dessus, soit $1,075 \text{ cm}^2$ par mètre.

Ces deux sections peuvent être réalisées au moyen d'un treillis soudé à mailles de 75×200 et fils de $6,4/5,4$ ⁽²⁾ ($4,29/1,145 \text{ cm}^2$). Il est important de noter à ce sujet que l'écart de diamètre entre les fils orthogonaux ne doit pas dépasser 2 mm .

b) Chapeaux sur appuis de rive

En admettant cette fois $R'_a = 28 \text{ kg/mm}^2$ et en conservant $h_1 = 10,5 \text{ cm}$, la section nécessaire par mètre est de $1,26 \text{ cm}^2$ pour les fils longitudinaux et de $0,315 \text{ cm}^2$ pour les fils de répartition. Ces deux sections peuvent être réalisées au moyen d'un treillis soudé à mailles de 75×200 et fils de $3,9/3$ ($1,59/0,353 \text{ cm}^2$). Bien entendu dans le choix du diamètre et de l'écartement des fils il ne faut pas perdre de vue l'hypothèse faite sur la contrainte en service (§ 2).

c) Ouverture limite des fissures

1) En travée et sur appui central :

$$R'_a = 25 \text{ kg/mm}^2$$

$$e_a = 2 \varnothing = 2 \times 6,4 = 12,8 \text{ mm}$$

$$e_b = 15 + 75 + 15 - 12,8 = 92,2 \text{ mm}$$

$$1 + 3 \frac{e_a}{e_b} = 1,416 \quad \sigma' = \frac{100 \times 4,29}{100 \times 12} = 0,357$$

$$\text{et } \Delta l_{\text{lim.}} = \frac{6,4 \times 1,416 \times 25}{2\,500 \times 0,357} = 0,25 \text{ mm.}$$

2) Sur appuis de rive :

$$R'_a = 28 \text{ kg/mm}^2$$

$$e_a = 2 \varnothing = 2 \times 3,9 = 7,8 \text{ mm}$$

$$e_b = 15 + 75 + 15 - 7,8 = 97,2 \text{ mm}$$

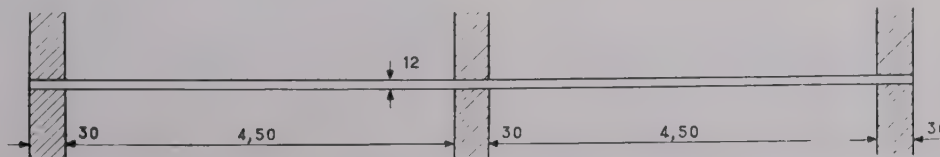


Fig. 4.

⁽¹⁾ Application des règles forfaitaires 7,3 des « Règles BA 45 ».

⁽²⁾ Les treillis soudés n'ayant encore fait l'objet d'aucune normalisation, il y a lieu, pour le choix des sections et des mailles, de se reporter aux catalogues des différents producteurs.



Mise en place d'un rouleau de treillis soudé.

$$1 + 3 \frac{e_a}{e_b} = 1,241 \quad \tau' = \frac{100 \times 1,59}{100 \times 12} = 0,1325$$

$$\text{et } \Delta l_{\text{lim}} = \frac{3,9 \times 1,241 \times 28}{2\,500 \times 0,1325} = 0,41 \text{ mm.}$$

Le hourdis considéré étant hyperstatique, on peut penser qu'en raison des phénomènes d'adaptation les ouvertures réelles des fissures seront inférieures à celles que l'on vient de calculer et le Δl_{lim} sur appui trouvé ci-dessus peut être considéré comme admissible ⁽¹⁾.

5. Déformations

Les dalles armées de treillis soudés étant généralement minces et le métal y travaillant en service sous contrainte élevée, des précautions doivent être prises pour que les déformations ne soient pas excessives. En particulier, il y aura le plus souvent intérêt à compenser celle due à la charge permanente en prévoyant une contre-flèche appropriée.

⁽¹⁾ La formule donnant l'ouverture limite est d'ailleurs, peut-être d'une sévérité excessive pour les faibles valeurs de m' (inférieures à 0,5) telles que celles généralement réalisées dans les hourdis armés de treillis soudés. Il est probable qu'une formule spéciale, applicable à ce cas particulier sera insérée dans le futur règlement.

6. Recouvrement des armatures

a) Dans le sens porteur

Le coefficient de forme K étant égal à 1 comme pour les barres lisses, les formules usuelles d'ancrage conduisent pour les treillis soudés à des recouvrements importants si l'on ne tient pas compte des dispositifs d'arrêt que constituent les soudures des fils transversaux.

Aucun essai n'ayant été effectué en vue de déterminer l'efficacité de ces soudures, il y a lieu, dans le cas des hourdis, de prévoir les recouvrements sur les poutres, dans les zones où l'armature est comprimée. Un recouvrement de deux mailles paraît alors suffisant. Si exceptionnellement le recouvrement devait se trouver dans une zone tendue, il y aurait lieu de procéder à des essais préliminaires.

Pour la détermination de l'enveloppe des moments résistants, on pourra admettre que les barres se mettent en charge sur une longueur égale à la moitié de la longueur de scellement droit calculée avec $K = 1$.

b) Dans le sens non porteur

Le raccordement transversal d'éléments successifs de treillis soudés se fera avec un recouvrement d'au moins une maille.

7. Pliage

Le pliage des barres peut être effectué selon un rayon intérieur de $2 \varnothing$ sans provoquer de criques sur la face déformée par extension. Toutefois, il est conseillé de ne pas descendre au-dessous d'un rayon intérieur de $3 \varnothing$.



(Phot. G. Dapremont, Toulon)

Armature de chape sur hourdis.

REVÊTEMENTS EXTÉRIEURS



à BRIQUES sans JOINTS

C'EST un usage répandu que de revêtir les façades avec des briquettes de parement en belle terre cuite rouge. La forme allongée de ces briquettes qui font saillie sur large lit de mortier permet de dessiner de longues stries horizontales alternativement rouges et grises dont s'accommodent à merveille les sobres façades modernes. Mais la perfection esthétique exige que ces stries ne soient pas interrompues par la monotone répétition des joints verticaux entre briquettes. Et c'est là que les ennuis commencent si l'on n'y prend pas garde.

Supprimer les joints verticaux entre les briquettes, c'est renoncer à faire jouer à la brique son rôle de protection contre la pluie et la ravalier à un simple rôle esthétique; c'est dommage et dangereux, elle mérite mieux.

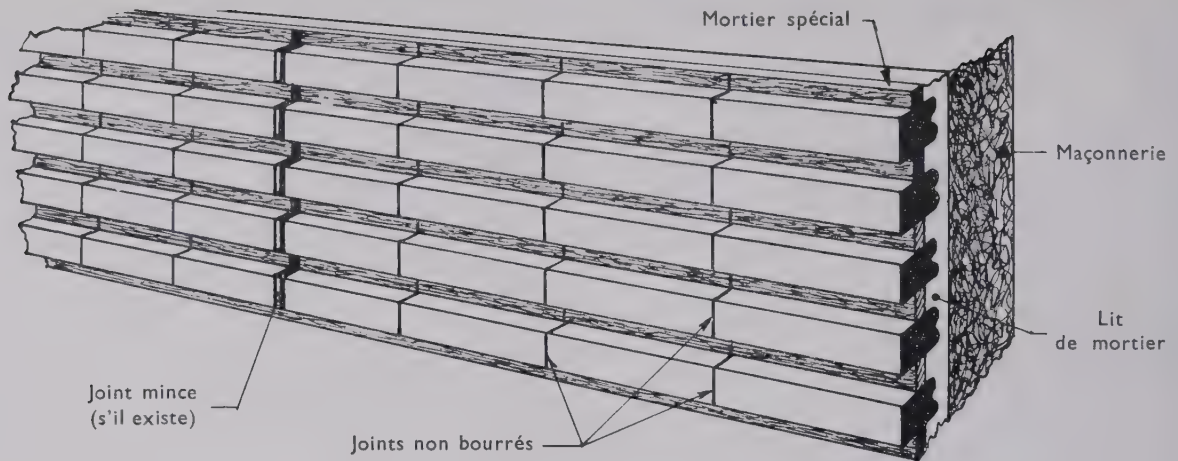
Mais il est bien entendu qu'alors on a prévu l'installation derrière le rang de briquettes d'un

écran imperméable qui peut être soit le lit de mortier de pose, soit la maçonnerie elle-même.

Faire un lit de mortier étanche à la pluie, tout bon maçon sait comment s'y prendre, et si l'opération est bien menée tout ira bien en principe et on aura à faire en somme à un mur enduit enjolivé de briquettes rouges, conception qui n'est nullement condamnable.

Là où les choses commencent à se gâter, c'est lorsque « l'enduit enjolivé » (qu'on excuse de l'appeler ainsi) est fabriqué à l'avance en dalles d'environ 70 × 100 cm destinées à être scellées jointives sur la maçonnerie.

Il nous revient en effet que ces dalles ne sont nullement imperméables et nous en avons vu en laboratoire dont le mortier comprenait 30 % de vides. Est-ce parce qu'on a perdu de vue la fonction majeure d'étanchéité de ces dalles, ou est-ce parce que le préfabricant ne s'est pas assimilé les techniques de l'enduseur? C'est à voir.



En outre le problème se pose au maçon de jointoyer ces dalles entre elles sans introduire entre les briquettes une épaisseur de joint vertical que l'esthétique condamne. Autant demander la lune, aurions-nous dit autrefois.

Là où les choses ne vont plus du tout c'est lorsque la maçonnerie sous-jacente est incapable de résister à la pénétration de la pluie; c'est le cas de matériaux non porteurs aux qualités principalement thermiques : bétons creux, caverneux ou de pouzzolane, qui nécessitent la présence d'un masque étanche.

Si ce masque n'est pas étanche, si l'eau qui s'infiltre par des milliers de fuites minces non bourrées parvient jusque derrière ce masque, alors le béton creux se trouve tout à fait prêt à jouer le rôle d'éponge, les plâtres intérieurs se mouillent et la moisissure s'y met.

Le fonctionnement de cette éponge peut être très rapide et nous connaissons des immeubles où en certains endroits les plâtres se mouillent quelques minutes après le début des averses.

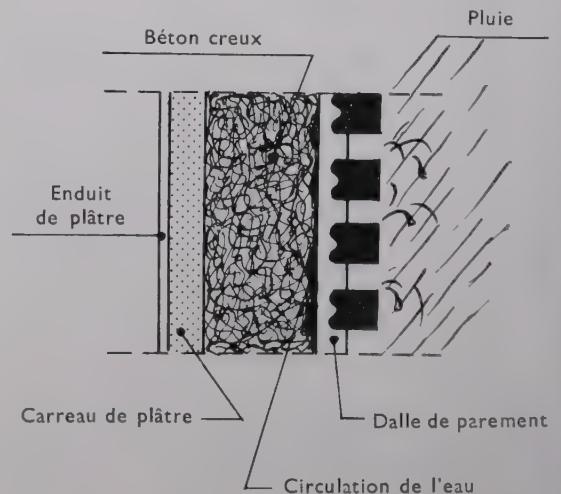
Enfin il y a une technique encore pire et qui est d'ailleurs pratiquement abandonnée; c'est celle qui consiste à insérer les briques de parement sans joints directement dans la maçonnerie de briques ordinaires. Nous laisserons cela de côté.

EXAMEN DES DÉGATS

Ne dramatisons pas; même dans le cas le plus défavorable nous n'avons pas vu d'infiltrations généralisées sauf dans les zones très exposées à de violentes pluies sous grand vent ou à des rejaillissements et ruissellements abusifs.

Aux causes précédentes, il convient cependant d'en ajouter une autre pour que le vice soit complet : d'après notre expérience il arrive assez couramment que cette eau pénètre derrière le masque, descende sans grand dommage le long de la façade entre masque et maçonnerie et que la plus grande partie reflue librement vers l'extérieur par les mêmes voies faciles de pénétration. Au contraire si l'eau descendante rencontre une barrière imperméable, elle s'accumule au-dessus en si grande quantité qu'elle doit chercher une issue secondaire moins facile vers l'intérieur de l'immeuble, à travers la maçonnerie et le plâtre.

Or de telles barrières existent en grand nombre, ce sont les bandeaux et les encadrements en béton des fenêtres et portes, et l'on constate que c'est presque toujours et le plus intensément au droit de ces pièces en béton compact que les plâtres intérieurs sont tachés. En outre si ces encadrements font large saillie hors de vue de la façade, ils sont une cause de rejaillissement qui multiplie par deux l'intensité de la pluie sur les zones de parement qui les surmontent.



Il faut donc tout de même une accumulation assez particulière de causes fâcheuses pour que les dégâts de la pluie deviennent graves, en sorte que la technique de parement sans joints qui est l'objet de cette note ne saurait être condamnée dans son principe, mais il est juste de dire que la rencontre de ces causes n'est pas si rare.

ÉTUDES

Il appartient aux intéressés qui ont à constater de tels dégâts de relever et de collationner les situations des taches intérieures, de les confronter avec les emplacements des divers accidents de la façade ou du parement et d'essayer de juger parmi toutes les causes citées quelles sont celles qui ont été en mesure de jouer un rôle prépondérant.

Une étude en laboratoire sera nécessaire pour apprécier l'étanchéité du masque, mais cette étude est simple et relativement peu coûteuse :

1^o Par acquit de conscience, faire mesurer la porosité des briquettes (envoyer trois briquettes prélevées sur la façade);

2^o Analyse complète du lit de mortier enchâssant les briquettes (envoyer environ 1 kg de ce mortier);

3^o Analyse complète du mortier de joint horizontal entre briquettes, s'il en existe un.

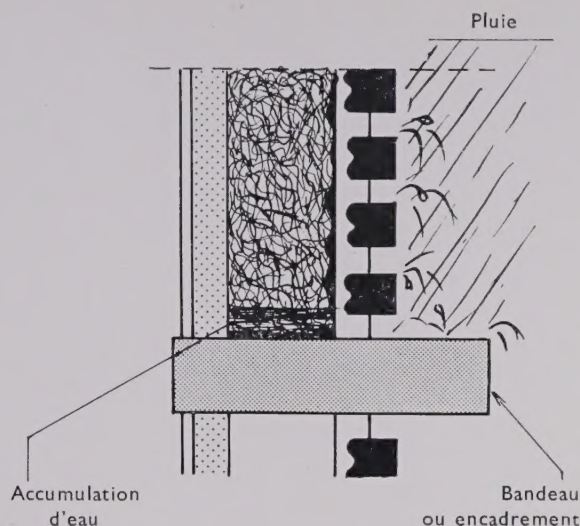
Ou plus simplement prélever un quart de mètre carré du masque étanche dans toute son épaisseur (mortier et briquettes) et l'envoyer au laboratoire en se référant à la présente note.

Des indications complémentaires pourront être demandées comme d'usage au Service S. V. P. Bâtiment qui pourra s'appuyer sur les observations et recherches en laboratoire qui seront entreprises ou continuées.

REMÈDES

Lorsque les désordres ne sont pas trop graves et sont localisés, il est possible d'apporter une amélioration très sérieuse par des procédés très simples. Contrairement à ce qui semblerait logique, ce moyen consiste à augmenter en des endroits bien choisis la perméabilité du masque, par exemple en y perceant des petits trous ou mieux en le traversant par des petits tubes faisant office de drains, de façon à favoriser la sortie de l'eau ou de la vapeur d'eau vers l'extérieur.

Pour éviter que ces drains ne facilitent également l'entrée de l'eau, on pourra les incliner de façon convenable ou même, dans certains cas et



principalement au-dessus des bandeaux et encadrements, les protéger de façon plus sérieuse contre les ruissellements et rejaillissements.

En principe ceci devrait suffire à désengorger les zones de pénétration chronique de l'eau. Des essais vont être effectués dont nous rendrons compte.

En cas de désordres plus graves il est évidemment bien tentant de chercher à imperméabiliser, sinon la façade entière, du moins certaines zones bien choisies.

Malheureusement il n'existe encore aucune expérience à cet égard : l'emploi des badigeons siliconés est probablement illusoire car les fentes de pénétration ont des dimensions non capillaires.

La chimie des résines plastiques modernes doit probablement pouvoir fournir une solution pratique et élégante de fermeture des joints. Nous nous proposons d'entreprendre les études scientifiques nécessaires dont nous ferons connaître les résultats dans une prochaine note.



Le mode de parement des façades qui est l'objet de cette note a connu une grande vogue; il est encore fréquemment adopté dans les constructions nouvelles.

La Fédération Nationale du Bâtiment ayant, de la part des entreprises, attiré notre attention sur de nombreux désordres graves ou bénins qui semblent provenir de ce mode de parement, nous avons cru bon par cette note de présenter le problème et de préparer les voies à quelques études et recherches complémentaires qui vont être entreprises au Centre Expérimental du Bâtiment et des Travaux Publics.

SUPPLÉMENT AUX ANNALES DE L'INSTITUT
TECHNIQUE DU BATIMENT ET DES TRAVAUX
PUBLICS, N° 121, JANVIER 1958.

(Le Directeur-Gérant : P. GUÉRIN.)

4676-1-58. Typ. FIRMIN-DIDOT et C^{ie}, Mesnil (Eure).
Dépôt légal : 1^{er} trim. 1958.

INSTITUT TECHNIQUE DU BATIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS

CONFÉRENCES DU CENTRE D'ÉTUDES SUPÉRIEURES

(Deuxième série)

MARDI 21 JANVIER 1958, à 17 h 30, 7, rue La Pérouse

Séance organisée avec la Chambre Syndicale des Constructeurs en Ciment Armé

sous la présidence de M. BALENCY-BEARN,
Président Honoraire de la Chambre Syndicale des Constructeurs en Ciment Armé et du Comité Européen du Béton

LE BARRAGE DE MAUVOISIN. SON EXÉCUTION ET SES INSTALLATIONS DE CHANTIER

par M. J.-P. COLOMB, Directeur Technique aux Entreprises Conrad Zschokke à Genève.

MARDI 28 JANVIER 1958, à 17 h 30, 7, rue La Pérouse

sous la présidence de M. LEBELLE,
Ancien Élève de l'École Polytechnique

L'USINE DUNLOP A AMIENS SHEDS AUTOPORTANTS EN BÉTON ARMÉ

par M. L. HAHN, Ingénieur diplômé, Chef du Bureau des Études de l'Entreprise Dumez.

MARDI 4 FÉVRIER 1958, à 17 h 30, 7, rue La Pérouse

sous la présidence de M. Paul TOURNON,
Architecte en Chef des Bâtiments Civils et Palais Nationaux,
ancien Directeur de l'École Nationale Supérieure des Beaux-Arts,
Membre de l'Institut

LA DÉFENSE CONTRE LE BRUIT DANS LES CONSTRUCTIONS

par M. L. CONTURIE, Ingénieur en Chef des Télécommunications.

JEUDI 6 FÉVRIER 1958, à 17 h, 3, rue de Lutèce

L'EMPLOI DU BOIS DANS LE BATIMENT ET LA CONSTRUCTION

Exposés présentés par le Centre Technique du Bois.

Conférences organisées par la Société des Ingénieurs Civils de France et l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics avec le concours de l'Association Française des Ponts et Charpentes

LE PONT RAIL-ROUTE D'ABIDJAN

VENDREDI 7 FÉVRIER 1958, à 20 h 45, 19, rue Blanche

sous la présidence de M. FOUGEA,
Président de la Société des Ingénieurs Civils de France

Exposé général et conception, par M. N. ESQUILLAN, Directeur Technique des Entreprises Boussiron, Président de la première section de la Société des Ingénieurs Civils de France. — Projection d'un film.

MARDI 11 FÉVRIER 1958, à 17 h 30, 7, rue La Pérouse

sous la présidence de M. MILLIER,
Ministre des Travaux Publics de la Côte d'Ivoire

Détails de réalisation. Exécution des travaux, par M. Jean FRANÇOIS, Chef d'études aux Entreprises Boussiron.

MARDI 18 FÉVRIER 1958, à 17 h 30, 7, rue La Pérouse

LE MARCHÉ-GARE DE TOULOUSE

par M. F. PRAT, Ingénieur en Chef de la ville de Toulouse.

L'INFORMATION TECHNIQUE CINÉMATOGRAPHIQUE

MERCREDI 12 FÉVRIER 1958, à 18 h précises — 7, rue La Pérouse

Programme :

FONÇAGE D'UN Puits
O. C. I. L. 1957

La carte spéciale d'inscription sera demandée à l'entrée.

BATIR

REVUE TECHNIQUE DE LA FÉDÉRATION NATIONALE DU BATIMENT ET DES ACTIVITÉS ANNEXES
PUBLIÉE AVEC LE CONCOURS DE L'INSTITUT TECHNIQUE ET DES LABORATOIRES DU BATIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS

SOMMAIRE

N° 72

— La sauvegarde du patrimoine immobilier et la revalorisation des loyers anciens.

— Les difficultés de la construction et leurs leçons : le mystère du château d'eau.

— Construction d'un groupe de 182 logements à Saint-Denis.

BOIS

— Une cité en bois vieille de 25 siècles.
— Quoi de neuf ?

PATHOLOGIE DE LA CONSTRUCTION

— Peinture sur plâtre humide.
— Andrew Paterson, ou l'illuminé du béton.

VISITE DE CHANTIER

— Édifice à triple destination à Caen.

NOUVEAUTÉS BREVETÉE

— Sanitaire.
— Léonard de Vinci, ingénieur.
— Sommaire annuel.
— Les films du bâtiment.
— Courrier des lecteurs.
— Échos et informations.
— Fiches bibliographiques.

DÉCEMBRE

1957